



TESIS - TF 142510

PREDIKSI CUACA MARITIM MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DI PERAIRAN TERNATE MALUKU UTARA

ANISA SANGADJI
2413 201 005

DOSEN PEMBIMBING :
Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, MT.
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - TF 142510

MARITIME WEATHER PREDICTION USING FUZZY LOGIC IN TERNATE WATERS NORTH MALUKU

ANISA SANGADJI
2413 201 005

SUPERVISOR :
Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, MT.
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT.

MASTER PROGRAM
INDUSTRIAL INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

oleh :

ANISA SANGADJI

NRP. 2413 201 005

Tanggal Ujian : 11 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

1. **Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.**
NIP. 19660116 198903 2 001

..... (Pembimbing I)

2. **Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.**
NIP. 19771127 200212 1 002

..... (Pembimbing II)

3. **Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.**
NIP. 19740903 199802 2 001

..... (Penguji)

4. **Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**
NIP. 19761223 200501 1 001

..... (Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

PREDIKSI CUACA MARITIM MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DI PERAIRAN TERNATE MALUKU UTARA

Nama Mahasiswa : Anisa Sangadji
NRP : 2413201005
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.
2. Dr. Gunawan Nugroho, ST,MT.

ABSTRAK

Perairan Ternate Maluku Utara merupakan salah satu perairan di kawasan timur Indonesia yang cuaca maritimnya sering tidak menentu. Hal ini menyebabkan potensi terjadinya kecelakaan laut sangat besar. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut terbaik di Perairan Ternate dengan menggunakan logika fuzzy Takagi-Sugeno. Data yang digunakan adalah data BMKG Maritim Bitung yang direkam per 6 jam selama 5 tahun dari Juli 2010 – Juni 2015. Untuk mendapatkan akurasi > 85% digunakan 3 model perancangan prediktor yaitu prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus Model A, Model B dan Model C. Setiap model menggunakan masukan dan jumlah fungsi keanggotaan yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan Model C adalah model terbaik di Perairan Ternate, dimana prediktor ini menggunakan 4 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan. Masukan pada prediktor ketinggian gelombang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) dan memiliki prosentase akurasi pada prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan yaitu 91,99%; sedangkan masukan pada prediktor kecepatan arus terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) dan memiliki prosentase akurasi sebesar 86,33% untuk prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan.

Kata Kunci: Cuaca Maritim, Ketinggian Gelombang, Kecepatan Arus, Logika Fuzzy Takagi-Sugeno, Perairan Ternate, Akurasi.

MARITIME WEATHER PREDICTION USING FUZZY LOGIC IN TERNATE WATERS NORTH MALUKU

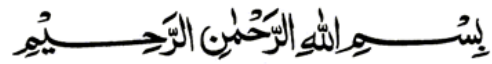
By : Anisa Sangadji
Student Identity Number : 2413 201 005
Supervisor : 1. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
2. Dr. Gunawan Nugroho, ST,MT.

ABSTRACT

Ternate waters of North Maluku is one of Indonesian eastern waters whose maritime weather is often unpredictable. Weathers prediction is important to avoid accidents in the waters. The aim this research is to obtain a predictor model of wave's height and current's speed suitable for the Ternate waters using Takagi-Sugeno fuzzy logic. The data used is data from BMKG Maritim Bitung which recorded per 6 hours during 5 years from July 2010 – June 2015. In order to reach accuracy of $> 85\%$, 3 model predictor's that used waves height and current speed are predictor Model A, Model B dan Model C. Each model uses different input and total membership function. The result of this research shows that the Model C is the best model for Ternate waters. Model C uses 4 membership functions for 3 input variables. Inputs of waves height predictor consist of the actual wind speed ($U(t)$), actual waves height ($H(t)$) and waves height 6 hours ago ($H(t-6)$) with accuracy percentage of waves height 6 hours ahead is 91,99%; while inputs of current speed predictor consist of actual wind speed ($U(t)$), actual current speed ($Cu(t)$) and current speed 6 hours ago ($Cu(t-6)$) with accuracy percentage of waves height 6 hours ahead is 81,63% for current speed 6 hours ahead.

Keywords: Maritime weathers, waves height, current speed, Takagi-Sugeno fuzzy logic, Ternate waters, accuracy.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “**Prediksi Cuaca Maritim Menggunakan Logika Fuzzy di Perairan Ternate Maluku Utara**”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tesis ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, PhD, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT, selaku Ketua Prodi S2 Teknik Fisika.
2. Ibu Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT, selaku sekretaris Prodi S2 Teknik Fisika.
3. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT, selaku dosen wali dan dosen pembimbing I yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan semasa perkuliahan hingga dalam menyelesaikan Tesis ini.
4. Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah sabar dalam memberikan bimbingan, dukungan dan arahan dalam menyelesaikan Tesis ini.
5. Bapak/Ibu Dosen S2 yang telah membimbing dan Karyawan Jurusan Teknik Fisika yang telah banyak membantu penulis.
6. Bapak Sulimin, selaku Kepala Stasiun Meteorologi Kelas I Babullah Ternate dan Bapak Frans Mbaubedari, S.Si., selaku Kepala Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Bitung.
7. Bapak Ricky Daniel Aror, S.Si, di Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Bitung yang telah membantu penulis dalam pengambilan data cuaca maritim Perairan Ternate serta bapak/Ibu yang ada di BMKG Maritim Bitung dan BMKG Ternate.

8. Suami tercinta Bahrud kahar, anakku tersayang Bintang Sulkan dan keluarga besar yang telah memberikan do'a, dukungan, nasehat dan semangat kepada penulis.
9. Saudara Rio, Kholis dan teman-teman S2 Teknik Fisika angkatan 2013 yang selalu membantu, mendo'akan dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini belumlah sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan guna kesempurnaan dari Tesis ini. Semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 11 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Masalah	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Penelitian Pendahuluan	5
2.5 Unsur – unsur Penentu Cuaca Pada Permukaan Laut	7
2.6 Sistem <i>Fuzzy</i>	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Identifikasi Masalah	22
3.2 Pengambilan Data	22
3.3 Pengolahan Data Secara Statistik	23
3.5 Pemodelan Sistem <i>Fuzzy</i>	26
3.6 Penentuan Jumlah Data Pelatihan dan Data Validasi	26
3.3 Perancangan Prediktor Cuaca Maritm Perairan Ternate	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Pengolahan Data Cuaca Maritim menggunakan FCM.....	55
4.2 Analisis Hasil Prediktor Ketinggian Gelombang Laut	60

4.3 Analisis Hasil Prediktor Kecepatan Arus Laut	70
4.4 Analisis Hasil Prediktor Terbaik	79
BAB 5 KESIMPULAN	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN A	89
LAMPIRAN B.....	95
LAMPIRAN C.....	113
LAMPIRAN D	121
BIODATA PENULIS	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Dasar Logika Fuzzy	14
Gambar 2.2	Contoh Fungsi Keanggotaan Logika Fuzzy	15
Gambar 2.3	Struktur Fuzzy Murni	18
Gambar 2.4	Struktur Fuzzy Mamdani	18
Gambar 2.5	Struktur Fuzzy Takagi-Sugeno	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Lokasi Pengambilan Data Cuaca Maritim Perairan Ternate	22
Gambar 3.3	Blok Diagram Ketinggian Gelombang Laut Model A	27
Gambar 3.4	Contoh FCM Ketinggian Gelombang Laut Model A	29
Gambar 3.5	Perancangan FIS Ketinggian Gelombang Laut Model A	30
Gambar 3.6	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model A	30
Gambar 3.7	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual ($H(t)$) Model A	30
Gambar 3.8	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Sebelumnya ($H(t-6)$) Model A	30
Gambar 3.9	Tampilan FIS untuk Keluaran Ketinggian Gelombang $H(t+6)$) Model A	31
Gambar 3.10	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Ketinggian Gelombang Model A	32
Gambar 3.11	Blok Diagram Kecepatan Arus Laut Model A	33
Gambar 3.12	Contoh FCM Kecepatan Arus Laut Model A	33
Gambar 3.13	Perancangan FIS Kecepatan Arus Laut Model A	34
Gambar 3.14	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model A	34
Gambar 3.15	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Aktual ($C_u(t)$) Model A	34
Gambar 3.16	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Sebelumnya ($C_u(t-6)$) Model A	35

Gambar 3.17	Tampilan FIS untuk Keluaran Kecepatan Arus ($C_u(t+6)$)	
	Model A	35
Gambar 3.18	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Kecepatan Arus	
	Model A	36
Gambar 3.19	Blok Diagram Ketinggian Gelombang Laut Model B	37
Gambar 3.20	Contoh FCM Ketinggian Gelombang Laut Model B	37
Gambar 3.21	Perancangan FIS Ketinggian Gelombang Laut Model B	38
Gambar 3.22	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$)	
	Model B	38
Gambar 3.23	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual ($H(t)$)	
	Model B	38
Gambar 3.24	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Sebelumnya	
	($H(t-6)$) Model B	38
Gambar 3.25	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Sebelumnya	
	($U(t-6)$) Model B	38
Gambar 3.26	Tampilan FIS untuk Keluaran Ketinggian Gelombang	
	$H(t+6)$) Model B	39
Gambar 3.27	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Ketinggian	
	Gelombang Model B	40
Gambar 3.28	Blok Diagram Kecepatan Arus Laut Model B	41
Gambar 3.29	Contoh FCM Kecepatan Arus Laut Model B	41
Gambar 3.30	Perancangan FIS Kecepatan Arus Laut Model B	42
Gambar 3.31	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$)	
	Model B	42
Gambar 3.32	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Aktual ($C_u(t)$)	
	Model B	42
Gambar 3.33	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Sebelumnya	
	($C_u(t-6)$) Model B.	43
Gambar 3.34	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Sebelumnya	
	($U(t-6)$) Model B	43

Gambar 3.35	Tampilan FIS untuk Keluaran Kecepatan Arus ($C_u(t+6)$)	
	Model B.....	43
Gambar 3.36	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Kecepatan Arus	
	Model B	44
Gambar 3.37	Blok Diagram Ketinggian Gelombang Laut Model C	45
Gambar 3.38	Contoh FCM Ketinggian Gelombang Laut Model C	45
Gambar 3.39	Perancangan FIS Ketinggian Gelombang Laut Model C.....	46
Gambar 3.40	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$)	
	Model C.....	46
Gambar 3.41	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual ($H(t)$)	
	Model C	46
Gambar 3.42	Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Sebelumnya	
	($H(t-6)$) Model C	46
Gambar 3.43	Tampilan FIS untuk Keluaran Ketinggian Gelombang	
	$H(t+6)$) Model C	47
Gambar 3.44	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Ketinggian	
	Gelombang Model C	48
Gambar 3.45	Blok Diagram Kecepatan Arus Laut Model C	49
Gambar 3.46	Contoh FCM Kecepatan Arus Laut Model C	49
Gambar 3.47	Perancangan FIS Kecepatan Arus Laut Model C	50
Gambar 3.48	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$)	
	Model C	50
Gambar 3.49	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Aktual ($C_u(t)$)	
	Model C	50
Gambar 3.50	Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Sebelumnya	
	($C_u(t-6)$) Model C	50
Gambar 3.51	Tampilan FIS untuk Keluaran Kecepatan Arus ($C_u(t+6)$)	
	Model C	51
Gambar 3.52	Tampilan Rule Editor untuk Keluaran Kecepatan Arus	
	Model C	52

Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+6)$) Model A	61
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+12)$) Model A	61
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+18)$) Model A	62
Gambar4.4	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+24)$) Model A	62
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+6)$) Model B	64
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+12)$) Model B	65
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+18)$) Model B	65
Gambar4.8	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+24)$) Model B	66
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+6)$) Model C	67
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+12)$) Model C	68
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+18)$) Model C	68
Gambar4.12	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang ($H(t+24)$) Model C	69
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual i Data Kecepatan Arus ($Cu(t+6)$) Model A	70
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+12)$) Model A	71
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+18)$) Model A	71
Gambar4.16	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+24)$) Model A	72

Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+6)$) Model B	74
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+12)$) Model B.....	74
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+18)$) Model B	75
Gambar4.20	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+24)$) Model B	75
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+6)$) Model C	77
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+12)$) Model C	77
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+18)$) Model C.....	78
Gambar4.24	Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus ($Cu(t+24)$) Model C	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Beaufort Kecepatan Angin	8
Tabel 2.2	Distribusi Frekuensi Angin	9
Tabel 2.3	Skala Beaufort Ketinggian Gelombang Laut	11
Tabel 2.4	Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Skala Beaufort	13
Tabel 3.1	Statistik Data Cuaca Maritim Perairan Ternate Per Tahun.....	23
Tabel 3.2	Uji Korelasi Tunggal dan Ganda	25
Tabel 3.3	Uji Kecukupan Data Variabel Cuaca Maritim	26
Tabel 3.4	Deskripsi Statistik Variabel Cuaca Maritim Perairan Ternate	26
Tabel 4.1	Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Laut Model A	56
Tabel 4.2	Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Laut Model B	57
Tabel 4.3	Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Laut Model C	58
Tabel 4.4	Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model A	59
Tabel 4.5	Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model B	59
Tabel 4.6	Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model C	60
Tabel 4.7	Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model A	63
Tabel 4.8	Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model B	66
Tabel 4.9	Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Laut Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model C	69
Tabel 4.10	Validasi Prediktor Kecepatan Arus Laut Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model A.....	72
Tabel 4.11	Validasi Prediktor Kecepatan Arus Laut Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model B	76

Tabel 4.12 Validasi Prediktor Kecepatan Arus Laut Berdasarkan

Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model C 79

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia sering disebut negara maritim karena negara ini terdiri dari banyak gugusan pulau dan sebagian besar wilayahnya merupakan perairan (laut). Segala peristiwa di laut sangatlah penting untuk diketahui masyarakat. Salah satu peristiwa di laut adalah gelombang laut. Informasi mengenai gelombang laut penting bagi berlangsungnya kelancaran transportasi laut, perikanan, perdagangan dan segala aktivitas laut lainnya.

Meningkatnya frekuensi kejadian kecelakaan transportasi laut di Indonesia akhir-akhir ini semakin tinggi. Beberapa kejadian kecelakaan yang dialami transportasi laut, baik tenggelamnya kapal maupun tabrakan antar kapal selain disebabkan oleh kesalahan manusia juga karena adanya cuaca buruk khususnya cuaca laut (Aisjah dkk, 2010).

Pencarian metode untuk memprediksi cuaca merupakan salah satu kegiatan yang akhir-akhir ini banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Hal ini dikarenakan banyaknya tuntutan dari berbagai pihak yang membutuhkan informasi yang cepat, lengkap dan akurat. Informasi cuaca laut didapatkan dari hasil pantauan BMKG Maritim yang melakukan peramalan terhadap cuaca maritim (laut). BMKG sebagai lembaga negara yang bertugas sebagai pengamat cuaca melakukan prediksi cuaca melalui metode konvensional, baik itu metode statistik maupun dinamik yang mencakup radius 5-10 km untuk 1 titik pengamatan di wilayah yang dapat diprediksikan (Fatah, 2014). Metode yang digunakan dalam melakukan prediksi khususnya ketinggian gelombang adalah menggunakan *Software WindWave-05* dengan menggunakan masukan data angin yang diperoleh dari *Buoyweather*.

Kegiatan peramalan/prediksi tentang cuaca maritim di berbagai jalur pelayaran dilakukan terus-menerus oleh para peneliti dengan berbagai macam metode untuk mendapatkan model prediktor yang memiliki keakuratan tinggi. Prediksi ketinggian gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu empiris, numerik dan *soft computing* atau *data learning*. Salah satu

contoh metode empiris yaitu *Coastal Engineering Manual* (CEM) dan *Shore Protection Manual* (SPM). Metode empiris merupakan metode sederhana dan memiliki keakuratan tinggi, tetapi hanya terbatas pada wilayah tertentu. Metode numerik memiliki keakuratan tinggi tetapi membutuhkan komputasi yang tinggi pula, contohnya *Simulating Wave Nearshore* (SWAN) untuk perairan dangkal dan *Wave Analysis Model* (WAM) untuk perairan dalam (Gunaydin, 2008; Kamranzad et al, 2011). Perkembangan tentang metode *soft computing* yaitu *Fuzzy Inference System* (FIS) membutuhkan waktu yang cepat dan cocok untuk model gelombang (Asma et al, 2011; Vimala et al, 2014).

Penggunaan metode logika *fuzzy* untuk memprediksi cuaca banyak dilakukan oleh para peneliti. Prediksi menggunakan logika *fuzzy* pada Laut Jawa hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi prediksi tinggi gelombang adalah 86,64% (Aisjah dkk, 2010). Prediksi cuaca menggunakan logika *fuzzy* untuk kelayakan pelayaran di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, hasil keakuratan prediksi menunjukkan bahwa persentase terbesar untuk ketinggian gelombang adalah 80,20% untuk prediksi 1 jam ke depan, sedangkan persentase terbesar kecepatan arus laut 98,79% untuk prediksi 1 jam ke depan. Sistem prediktor cuaca dikembangkan untuk menentukan kelayakan pelayaran dengan prosenatse 95,17% (Data BMKG,2005-2009) (Prita, 2010). Penelitian lanjutan untuk perancangan prediksi cuaca berbasis *fuzzy* menggunakan *user interface android* menghasilkan keakuratan suhu udara 83%, kelembaban udara 84,5%, kecepatan arus laut 87%, tinggi gelombang laut 85,7%, dan curah hujan 95% (Data BMKG tahun 2007-2012) (Kahfi, 2013). Pada tahun 2014, Al-Matarneh et al melakukan penelitian tentang peramalan cuaca khususnya suhu harian di lokasi Amman dan Taipei/Cina menggunakan 2 model yaitu JST dan logika fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model logika fuzzy adalah model terbaik dengan hasil yang lebih akurat, dimana nilai Mean Absolute Error (MAE) = 0,3955 dan VAF = 0,7458.

Prediksi cuaca maritim di wilayah Indonesia bagian timur untuk jalur pelayaran Ternate (Maluku Utara) – Bitung (Sulawesi Utara) belum pernah dilakukan. Khususnya untuk Perairan Ternate, Perairan Ternate berbatasan langsung dengan Sebelah Utara Samudra Pasifik dan Perairan Selatan Negara

Filipina, Sebelah Selatan dan Barat dengan Laut Maluku, dan Sebelah Timur dengan Pantai Barat Halmahera. Kedudukan Kota Ternate sebagai pusat perdagangan yang sangat strategis dan penting sekali dikawasan ini. Selain itu, letak Pulau Ternate adalah dekat dengan Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara. Aktivitas yang paling banyak dilakukan oleh masyarakat Ternate atau sekitarnya adalah melalui jalur laut. Ketika terjadi cuaca buruk di laut maka semua aktivitas terganggu, baik yang melakukan aktivitas perkantoran dan perdagangan dengan pulau terdekat maupun dengan berlayar ke Bitung atau ke daerah lain dengan menggunakan kapal besar.

Berdasarkan kajian penelitian tentang prediksi cuaca maritim yang sudah dilakukan, maka dilanjutkan dengan penelitian ini yaitu memprediksi cuaca maritim di Perairan Ternate dengan menggunakan logika *fuzzy*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka yang menjadi permasalahan pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana memperoleh model prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut terbaik di Perairan Ternate Maluku Utara?
2. Bagaimana menganalisis prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut dengan akurasi $> 85\%$ berdasarkan variasi fungsi keanggotaan sesuai karakteristik data di Perairan Ternate Maluku Utara?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, yang menjadi batasan masalah adalah

1. Data yang diambil adalah data sekunder BMKG Maritim Bitung selama 5 tahun (Juli 2010 – Juni 2015).
2. Objek analisa yaitu Perairan Ternate.
3. Variabel cuaca maritim yang akan diprediksi yaitu ketinggian gelombang laut dan kecepatan arus laut untuk 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.
4. Metode yang digunakan dalam prediksi yaitu logika *fuzzy* Takagi-Sugeno.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Dapat memperoleh model prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut terbaik di Perairan Ternate Maluku Utara.
2. Dapat menganalisis prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut dengan akurasi $> 85\%$ berdasarkan variasi fungsi keanggotaan sesuai karakteristik data di Perairan Ternate Maluku Utara.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai sebuah model prediktor usulan bagi BMKG Maritim Bitung dan BMKG Ternate.
2. Dengan adanya prediktor yang akurat maka dapat dijadikan acuan dalam pelayaran yang digunakan sebagai *Early Warning* sehingga dapat mengurangi angka kecelakaan di laut.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Penelitian Pendahuluan

Pola cuaca maritim yang tidak beraturan akan mengganggu sarana transportasi laut dimana frekuensi gangguan angin kencang/badai angin barat dan angin timur yang silih berganti berpeluang mengganggu lalu lintas perhubungan laut dan penyebaran antar pulau. Kegiatan untuk menentukan kondisi cuaca telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik pemodelan dan penerapan metode-metode tertentu, mulai dari pemodelan yang sederhana hingga pemodelan yang sangat kompleks (Aisjah dkk, 2010).

Penelitian-penelitian tentang prediksi/peramalan cuaca menggunakan logika fuzzy telah banyak dilakukan. Pada tahun 2009, Shahram Javadi et al melakukan penelitian tentang pemodelan dan prediksi kecepatan angin di Iran Tehran dengan menggunakan logika fuzzy, penelitian ini menggunakan beberapa kurva fungsi keanggotaan yaitu *Gbell*, *Triangular-trapezoidal* dan *Gaussian*. Hasil simulasi kinerja dan efisiensi yang diperoleh dari metode yang digunakan dalam memprediksi kecepatan angin memiliki akurasi tinggi dengan menggunakan fungsi keanggotaan *Gaussian* dengan RMSE 2,0428. Kemudian pada tahun 2012, Hasyim M.A et al melakukan penelitian tentang prediksi ketinggian gelombang signifikan untuk 1,3,6,12 dan 24 jam ke depan dengan menggunakan logika *fuzzy* interval 2 tipe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fuzzy* tipe 2 dengan prediksi 6 jam kedepan adalah metode yang terbaik dengan kinerja RMSE sebesar 0,1529.

Pada tahun 2014, Al-Matarneh et al melakukan penelitian tentang peramalan cuaca khususnya suhu harian di lokasi Amman dan Taipei/Cina menggunakan 2 model yaitu JST dan logika fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model logika fuzzy adalah yang model terbaik dengan hasil yang lebih akurat, dimana nilai Mean Absolute Error (MAE) = 0,3955 dan VAF = 0,7458. Penelitian selanjutnya pada tahun 2014 oleh Kashikar et al tentang peramalan ketinggian gelombang signifikan dengan menggunakan metode JST dan logika

fuzzy di daerah Boston AS untuk prediksi 1 jam ke depan. Penelitian ini berkesimpulan bahwa logika *fuzzy* adalah metode yang dapat digunakan secara efisien dengan $R = 0,96$ dan $MSE = 0,047$.

Penggunaan metode logika *fuzzy* oleh Aulia dkk tahun 2011 pada studi kasus yang dilakukan di Laut Jawa, jalur pelayaran Surabaya-Banjarmasin, pada proses pemodelan terdapat 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-1)$); didapatkan tingkat akurasi prediksi tinggi gelombang adalah 86,64% dan pada tahun 2010 juga dilakukan penelitian tentang aplikasi system logika fuzzy pada peramalan cuaca di Indonesia untuk mendeteksi kejadian anomali tinggi gelombang laut. pada penelitian ini, penggunaan logika fuzzy tipe Takagi-Sugeno dengan 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-1)$) menghasilkan ketepatan prediksi jauh lebih baik daripada tipe *fuzzy* Mamdani, dimana prosentase terbesar ketinggian gelombang adalah 98,25% untuk prediksi 1 jam ke depan, kecepatan arus 80,24% untuk prediksi 1 jam kedepan dan kelayakan pelayarannya 79,37%.

Adapun beberapa kajian tentang prediksi cuaca yang dilakukan di Jurusan Teknik Fisika. Pada tahun 2010 dilakukan penelitian oleh Prita tentang prediksi cuaca menggunakan logika *fuzzy* untuk kelayakan pelayaran di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, data yang digunakan adalah data yang diambil dari BMKG pada *range* waktu 5 tahun dari tahun 2005-2009 dan data bulan Desember 2007 yang digunakan untuk validasi. Pada proses pemodelan, data ketinggian gelombang dan kecepatan arus digunakan sebagai variabel masukan, dari hasil peramalan ketinggian gelombang untuk 744 data pada bulan Desember 2007 didapatkan hasil prosentase akurasi 80,20% untuk prediksi 1 jam ke depan, prosentase akurasi kecepatan arus laut 98,79% untuk prediksi 1 jam ke depan dan kelayakan pelayaran didapatkan prosentase sebesar 95,17%. Kemudian dilanjutkan penelitian pada tahun 2013 oleh M. Kahfi tentang perancangan prediksi cuaca berbasis *fuzzy* menggunakan *user interface android*. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan prediktor cuaca maritim berbasis logika *fuzzy* Takagi-Sugeno menggunakan *user interface smartphone android*. *User*

interface smartphone android dipilih karena *android* banyak digunakan masyarakat Indonesia. Data yang digunakan untuk proses pemodelan berasal dari data BMKG II Perak yang direkam perjam selama 6 tahun yaitu dari Januari 2007 hingga Desember 2012. Hasil penelitian didapatkan akurasi prediksi cuaca maritim tertinggi yaitu: suhu udara, kelembaban udara, kecepatan arus laut, tinggi gelombang dan curah hujan berturut-turut adalah 83%, 84,5%, 87 %, 85,7% dan 95%. Pada tahun 2012 dilakukan penelitian oleh Dynes dkk tentang Penerapan *Fuzzy Inference System (Mamdani)* pada prediksi curah hujan di Surabaya Utara. Penelitian ini menggunakan enam variabel masukan yang mempengaruhi terjadinya hujan berupa suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, tekanan udara, total lapisan awan, dan lama penyinaran matahari. Hasil penelitian menunjukkan prosentase akurasi prediksi curah hujan sebesar 77,68% dari sebelas eksperimen.

2.2. Unsur – Unsur Penentu Cuaca Pada Permukaan Laut

Angin

Angin adalah gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Gejala ini sesuai dengan hukum *Boys Ballot* bahwa udara akan senantiasa mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah dan di belahan bumi utara angin berbelok kekanan, di belahan bumi selatan angin berbelok ke kiri. Angin sebagai pembangkit gelombang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Durasi angin bertiup.

Semakin lama durasi angin bertiup maka tinggi, kecepatan dan panjang gelombang yang dibangkitkan juga semakin meningkat. **Fetch**

Fetch merupakan daerah dimana kecepatan dan arah angin berada dalam keadaan konstan. *Fetch* ini berpengaruh terhadap periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. *Fetch* yang besar akan membangkitkan gelombang dengan periode yang panjang.

2. Kecepatan angin

Kecepatan angin bergerak memiliki standar yang pertama kali diperkenalkan oleh seorang angkatan laut Inggris pada tahun 1814. Beaufort

memperkenalkan sistem pengklasifikasian kecepatan angin. Oleh WMO (World Meteorological Organization) skala ini dijadikan acuan skala kecepatan angin secara internasional hingga sekarang. Beaufort mengklasifikasikan kecepatan angin menjadi 13 jenis dan skala, ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 (World Meteorological Organization, 1998).

Tabel 2.1. Skala Beaufort Kecepatan Angin

Kekuatan Angin	Kecepatan Angin		Nama	Keterangan
	m/dt	km/jam		
0	0,0-0,5	0-1	<i>Angin reda</i>	<i>Tiang asap tegak</i>
1	0,6-1,7	2 - 6	<i>Angin sepoi-sepoi</i>	<i>Tiang asap miring</i>
2	1,8-3,3	7 - 12	<i>Angin lemah</i>	<i>Daun-daun bergerak</i>
3	3,4-5,2	13-18	<i>Angin sedang</i>	<i>Ranting-ranting bergerak</i>
4	5,3-7,4	19-26	<i>Angin tegang</i>	<i>Dahan-dahan bergerak</i>
5	7,5-9,8	27-35	<i>Angin keras</i>	<i>Batang pohon bergerak</i>
6	9,9-12,4	36-44	<i>Angin keras sekali</i>	<i>Batang pohon besar bergerak</i>
7	12,5-15,2	45-54	<i>Angin rebut</i>	<i>Dahan-dahan patah</i>
8	15,3-18,2	55-65	<i>Angin rebut hebat</i>	<i>Pohon-pohon kecil patah</i>
9	18,3-21,5	66-77	<i>Angin badai</i>	<i>Pohon-pohon besar patah</i>
10	21,6-25,1	78-90	<i>Angin badai hebat</i>	<i>Rumah-rumah roboh</i>
11	25,2-29,0	91-104	<i>Angin taifun</i>	<i>Benda berat berterbangan</i>
12	≥ 29	≥ 105	<i>Angin taifun hebat</i>	<i>Benda berat berterbangan hingga beberapa km</i>

Sumber : World Meteorological Organization, 1998

Faktor angin sangat menentukan terjadinya gelombang dan arus di permukaan laut. Bentuk gelombang yang dihasilkan adalah tidak teratur dan bergantung pada tinggi dan periode di daerah dimana gelombang dibentuk atau yang di sebut *sea* (Lanuru, 2011).

Angin adalah besaran vektor yang mempunyai arah dan kecepatan. Arah angin di nyatakan dalam derajat yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Distribusi Frekuensi Angin

No	Arah	Besar Sudut
1	Utara (U)	360 ⁰
2	Utara Timur Laut (UTL)	22,5 ⁰
3	Timur Laut (TL)	45 ⁰
4	Timur Laut Timur (TLT)	67,5 ⁰
5	Timur (T)	90 ⁰
6	Timur Tenggara (TTg)	112,5 ⁰
7	Tenggara (Tg)	135 ⁰
8	Selatan Tenggara (STg)	157,5 ⁰
9	Selatan (S)	180 ⁰
10	Selatan Barat Daya (SBD)	202,5 ⁰
11	Barat Daya (BD)	225 ⁰
12	Barat Barat Daya (BBD)	247,5 ⁰
13	Barat (B)	270 ⁰
14	Barat Barat Laut (BBL)	292,5 ⁰
15	Barat Laut (BL)	315 ⁰
16	Utara Barat Laut (UBT)	337,5 ⁰

Sumber : *World Meteorological Organization, 1998*

Gelombang Laut

Gelombang laut atau ombak merupakan gerakan air laut yang paling umum dan mudah diamati. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya gelombang laut yaitu : (Aisjah dkk, 2010)

1. Angin. Ketika angin yang berhembus secara teratur dan terus-menerus di atas permukaan air laut akan membentuk riak permukaan yang bergerak searah dengan hembusan angin. Bila angin masih terus berhembus dalam waktu yang cukup panjang dan meliputi jarak permukaan laut yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang. Pada saat yang bersamaan riak permukaan baru akan terbentuk diatas gelombang yang terbentuk, dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang-gelombang baru tersendiri.

2. Menabrak pantai. Gelombang yang sampai ke pantai akan terjadi hempasan dan pecah. Air yang pecah itu akan terjadi arus balik dan membentuk gelombang, oleh karena itu arahnya akan berlawanan dengan arah datangnya gelombang.
3. Gempa bumi. Gelombang terjadi karena adanya gempa di dasar laut. Gempa yang terjadi karena adanya gunung laut yang meletus atau adanya getaran atau pergeseran kulit bumi di dasar laut. Salah satu contoh gelombang besar yang biasanya disebut gelombang tsunami.

Berdasarkan kedalamannya, gelombang yang bergerak mendekati pantai dibagi menjadi gelombang laut dalam dan gelombang permukaan. Gelombang laut dalam merupakan gelombang yang dibentuk dan dibangun dari bawah ke permukaan, sedangkan gelombang permukaan merupakan gelombang yang terjadi antara batas dua media seperti batas air dan udara (Ippen, 1996). Gelombang yang bergerak dari zona laut lepas hingga tiba di zona dekat pantai akan melewati beberapa zona gelombang yaitu zona laut dalam, zona refraksi, zona pecah gelombang dan zona pengadukan gelombang (Dyer, 1978). Secara terperinci gelombang mula-mula terbentuk di daerah pembangkit, selanjutnya gelombang-gelombang tersebut akan bergerak pada zona laut dalam dengan panjang dan periode yang relatif pendek. Setelah masuk ke perairan dangkal, gelombang akan mengalami pembelokan arah akibat topografi dasar laut yang menanjak sehingga sebagian kecepatan gelombang menjadi berkurang periodenya semakin lama dan tingginya semakin bertambah, gelombang kemudian akan pecah pada zona *surf* dengan melepaskan sejumlah energinya dan naik ke pantai dan setelah beberapa waktu kemudian gelombang akan turun yang kecepatannya bergantung pada kemiringan pantai. Pantai dengan kemiringan yang tinggi akan lebih cepat memantulkan gelombang dan sebaliknya.

World Maritim Organization mengklasifikasikan gelombang laut berdasarkan tingginya yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. Pengklasifikasian oleh WMO ini kemudian menjadi standar ketinggian gelombang laut yang digunakan dalam dunia pelayaran, peramalan cuaca, dan sebagainya.

Tabel 2.3 Skala Beaufort Ketinggian Gelombang Laut

Kode	Tinggi Gelombang (m)	Nama Karakteristik
0	0	<i>Glassy</i>
1	0 – 0,1	<i>Rippled</i>
2	0,1 – 0,5	<i>Smooth</i>
3	0,5 – 1,25	<i>Slight</i>
4	1,25 – 2,5	<i>Moderate</i>
5	2,5 - 4	<i>Rough</i>
6	4 - 6	<i>Very Rough</i>
7	6 - 9	<i>High</i>
8	9 - 14	<i>Very High</i>
9	> 14	<i>Phenomenal</i>

Sumber : *World Meteorological Organization, 1998*

Arus Laut

Arus laut adalah gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat yang lain baik secara vertikal maupun secara horizontal. Menurut letaknya arus dibedakan menjadi dua yaitu arus atas dan arus bawah. Arus atas adalah arus yang bergerak dipermukaan laut. Arus ini dipengaruhi sebagian besar oleh kecepatan, kekuatan serta arah angin yang ada dipermukaan laut sehingga menyebabkan arus atas bergerak. Pengaruh angin disini 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Kecepatan arus ini akan berkurang sesuai dengan makin bertambahnya kedalaman perairan sampai pada akhirnya angin tidak berpengaruh pada kedalaman 200 meter. Sedangkan arus bawah adalah arus yang bergerak dibawah permukaan laut. Menurut suhunya kita mengenal adanya arus panas dan arus dingin. Arus panas adalah arus yang bila suhunya lebih panas dari daerah yang dilalui, sedangkan arus dingin adalah arus yang suhunya lebih dingin dari daerah yang dilaluinya.

Pergerakan arah arus vertikal ke atas disebut *upwelling* yaitu suatu proses dimana massa air yang di dorong ke atas dari kedalaman sekitar 100 sampai 200 meter. Angin yang mendorong lapisan air permukaan mengakibatkan kekosongan di bagian atas, akibatnya air yang berasal dari bawah menggantikan kekosongan

yang berada diatas. Sedangkan pergerakan arah arus vertikal ke bawah disebut *sinking*.

Hubungan antara Angin, Gelombang laut, dan Arus laut

Adapun hubungan antara ketinggian gelombang dan kecepatan angin dapat dilihat pada persamaan (2.1) berikut:

$$H_s = 0.21 \frac{V^2}{g} \quad (2.1)$$

Keterangan:

H_s = Ketinggian gelombang

V = kecepatan angin (m/s)

g = gaya gravitasi bumi (10m/s^2)

Kecepatan angin yang ada di laut biasanya dinyatakan dalam knot dimana 1 knot = 0.51 m/s. (Fossen, 1994)

Sedangkan kecepatan arus dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$V_{l\omega}(z) = \begin{cases} V_{l\omega}(0) \frac{d_0 - z}{d_0} & \text{for } 0 \leq z \leq d_0 \\ 0 & \text{for } d_0 < z \end{cases} \quad (2.2)$$

Dimana d_0 adalah kedalaman referensi untuk arus yang dibangkitkan oleh angin (umumnya bernilai 50 m) dan z adalah komponen vertikal yang akan diukur. Collar (1986) telah menunjukkan bahwa kecepatan arus permukaan laut ($V_{l\omega}$) dapat didekati dengan persamaan :

$$V_{l\omega}(0) = 0.02V_{10} \quad (2.3)$$

Dimana V_{10} adalah kecepatan angin yang diukur 10 m dari atas permukaan air laut (Jensen, 2002).

Kriteria tinggi gelombang yang mempengaruhi pelayaran adalah sebagai berikut :

1. 1.25 – 2.0 m : berbahaya bagi perahu nelayan
2. 2.0 – 3.0 m : berbahaya bagi perahu nelayan dan tongkang
3. 3.0 – 4.0 m : berbahaya bagi perahu nelayan, tongkang dan ferry
4. > 4.0 : berbahaya bagi semua kapal

Hubungan kecepatan angin dan ketinggian gelombang dijelaskan pada Tabel 2.4 berdasarkan skala Beaufort.

Tabel 2.4 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian Gelombang Berdasarkan Skala Beaufort

Skala Beaufort (Bft)	Kecepatan Angin (m/s)	Kemungkinan Ketinggian Gelombang	Keterangan
0	0,0-0,5	Datar (0 ft; 0m)	<i>Laut tenang seperti cermin.</i>
1	0,6-1,7	5 – 10 cm (2 – 4 in) (0 ft; 0m)	<i>Muncul riak air berbentur sisik tanpa buih.</i>
2	1,8-3,3	10 – 15 cm (4 – 6 in); (0 – 1ft; 0 - 0,3 m)	<i>Muncul gelombang kecil yang pendek namun lebih terlihat puncak gelombang lebih tampak dan tidak pecah.</i>
3	3,4-5,2	60 cm (2 ft); (1-2 ft; 0.3-0.6 m)	<i>Gelombang besar, puncak gelombang mulai pecah, muncul buih yang tampak seperti kuda putih.</i>
4	5,3-7,4	1 m (3.5 ft); (2-4 ft; 0.6-1.2 m)	<i>Muncul ombak-ombak kecil dalam frekuensi yang lama, dan tampak seperti kuda putih.</i>
5	7,5-9,8	2 m (6-7 ft); (4-8 ft; 1.2-2.4 m)	<i>Bentuk gelombang panjang tampak lebih jelas, banyak terbentuk kuda putih, beberapa menyemburkan air.</i>
6	9,9-12,4	3 m (9-10 ft); (8-13 ft; 2.4-4 m)	<i>Gelombang besar mulai terbentuk, puncak gelombang yang berbuih skalanya lebih luas, dan menyemburkan air kemana-mana.</i>
7	12,5-15,2	4 m (13-14 ft); (13-20 ft; 4-6 m)	<i>Air laut, buih dari ombak yang pecah mulai ditiup oleh angin dengan sesuai dengan arah angin tersebut.</i>
8	15,3-18,2	5.5 m (18 ft); (13-20 ft; 4-6 m)	<i>Gelombang tinggi yang cukup panjang. Buih dimana-mana yang ditiup di lapisan yang ditandai dengan arah angin.</i>
9	18,3-21,5	7 m (23 ft); (13-20 ft; 4-6 m)	<i>Gelombang tinggi, busa padat yang terbentuk sepanjang arah angin, puncak-puncak gelombang mulai jatuh dan berguling, semprotan air laut dapat mempengaruhi jarak pandang</i>
10	21,6-25,1	9 m (29 ft); (20-30 ft; 6-9 m)	<i>Gelombang sangat tinggi dengan puncak panjang, permukaan laut menjadi berwarna putih, air laut yang jatuh ke laut menjadi berat, berdampak pada jarak pandang</i>
11	25,2-29,0	11 m (37 ft); (30-45 ft; 9-14 m)	<i>Ombak yang muncul sangat tinggi</i>
12	≥ 29	11 m and more (> 37 ft); (>45 ft; >14 m)	<i>Udara dipenuhi dengan buih dan air, laut memutih, jarak pandang sangat terpengaruh</i>

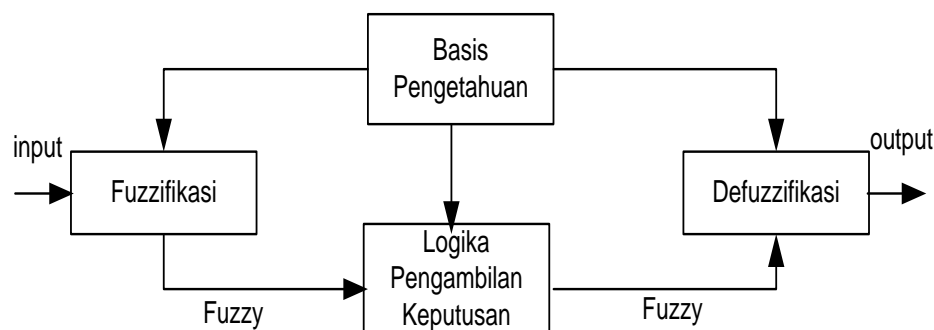
Sumber : *World Meteorological Organization, 1998*

Selain ketinggian, periode gelombang serta jarak tempuh gelombang dari titik pembangkitannya (*fetch*) juga menjadi karakteristik sifat gelombang laut. *Fetch* akan mempengaruhi ketinggian serta periode gelombang. Semakin panjang jarak tempuh gelombang dari titik pembangkitannya, maka ketinggian gelombang akan semakin besar. Begitu pula jika angin berhembus semakin kencang maka ketinggian gelombang juga akan lebih besar.

2.3 Sistem *Fuzzy*

Logika *fuzzy* dicetuskan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 dengan melihat kenyataan bahwa manusia dapat membuat keputusan lebih baik berdasarkan informasi yang didapat (Zadeh, 1965). Logika *fuzzy* dikenalkan setelah sebelumnya terdapat sistem logika *crip* yang memisahkan nilai benar dan salah secara tegas. Logika *fuzzy* merupakan sistem logika dengan banyak nilai kemungkinan terhadap suatu dimana memiliki nilai keanggotaan yang terletak antara 0 s ampai 1 (Zadeh, 1965). Logika *fuzzy* menggambarkan sebuah pendekatan logika dimana logika tersebut merupakan wujud nyata dari nalar manusia. Logika *fuzzy* digunakan dalam banyak hal sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari *input* menuju *output* yang diharapkan (Kusumadewi, 2010).

Struktur dasar sistem *fuzzy* terdiri dari empat bagian yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan dan defuzzifikasi. Blok diagram dari struktur dasar logika *fuzzy* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



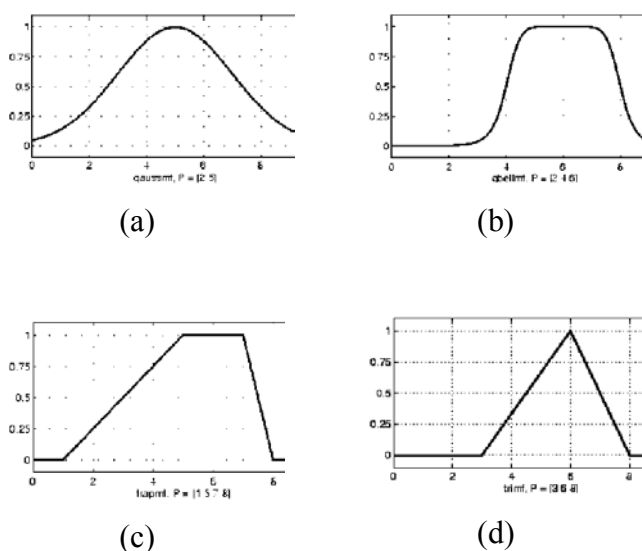
Gambar 2.1 Struktur Dasar Logika *Fuzzy* (Arifin, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.1, setiap tahapan memiliki fungsi sebagai berikut :

Fuzzifikasi

Pada proses *fuzzifikasi* himpunan *crisp* yang merupakan himpunan tegas (*non-fuzzy*) diubah ke dalam bentuk himpunan *fuzzy* (diubah dalam bentuk fungsi keanggotaan). Data masukan kemudian akan didefinisikan menjadi beberapa *cluster* yang telah dipetakan sesuai dengan bentuk linguistiknya. Penentuan definisi linguistik ini disesuaikan dengan sistem dan variabel yang ada. Setelah data dipetakan sesuai dengan himpunan *fuzzy* beserta definisi linguistiknya kemudian data harus memiliki nilai fungsi keanggotaan pada tiap – tiap himpunan *fuzzynya*.

Nilai fungsi keanggotaan pada himpunan *fuzzy* memiliki rentang 0 – 1. Dimana nilai 0 menunjukkan ketiadaan fungsi anggota pada himpunan tersebut, sedangkan nilai 1 menunjukkan keanggotaan penuh pada himpunan tersebut. Pada umumnya bentuk fungsi nilai keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* direpresentasikan menggunakan kurva. Bentuk fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* terdiri atas berbagai jenis kurva, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a), (b), (c), (d).



Gambar 2.2 Contoh fungsi keanggotaan logika *fuzzy*;

- (a) Fungsi Keanggotaan *Gaussian* (b) Fungsi Keanggotaan *Bell-Shaped*
 (c) Fungsi Keanggotaan *Trapezium* (d) Fungsi Keanggotaan *Segitiga*
 (Arifin, 2012)

Penggunaan kurva memudahkan untuk mengecek dan melihat dimana pusat data himpunan, bentuk fungsi keanggotaannya dan nilai fungsi keanggotaan maksimum dan minimum.

Rule Base

Rule base merupakan dasar peraturan dari pembangkitan data baru sesuai dengan hipotesa yang ada. *Rule base* mendefinisikan tiap – tiap masukan dan keluaran dari himpunan *fuzzy* melalui rekayasa subjektif sehingga dapat didefinisikan oleh variabel linguistik yang merupakan bagian dari *rule base* (dasar peraturan).

Rekayasa subjektif yang dilakukan dalam mendefinisikan masukan dan keluaran himpunan *fuzzy* didasarkan pada pengalaman dan pertimbangan pakar. Pakar yang dimaksud disini bisa merupakan orang yang ahli pada bidang tersebut atau bisa merupakan perancang sistem *fuzzy* itu sendiri. Sehingga hasil dari keluaran sistem *fuzzy* ditentukan penuh oleh kepakaran perancang sistem *fuzzy* tersebut dalam membuat aturan. Bahasa yang digunakan dalam *rule base* merupakan bahasa logika umum yang biasa digunakan seperti dan (*and*), atau (*or*), jika...lalu (*If...Then..*)

Dalam dasar peraturan (*rule base*) sendiri dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu dasar peraturan itu sendiri dan basis data (*database*). Basis data adalah kumpulan data yang memuat informasi tentang semesta pembicaraan. Basis data ini menggambarkan data yang menjadi masukan dari sistem *fuzzy* yang berupa besaran fisis objek yang telah diubah dan dikategorikan sesuai dengan definisi linguistiknya.

Penalaran (*Inference Machine*)

Penalaran atau logika pengambilan keputusan disebut juga sebagai *Fuzzy Inference System (FIS)*. Proses pengambilan keputusan dilakukan dengan cara mengolah dan menyimpulkan kaidah yang tersusun dalam *rule If... Then*, dimana setiap *rule* menghasilkan satu keluaran. Pada dasarnya, satu *rule* akan aktif apabila kondisi masukan memenuhi aturan pernyataan *If*. Pengaktifan aturan pernyataan *If* menghasilkan keluaran kendali yang didasarkan pada aturan pernyataan *Then*. Dalam sistem *fuzzy* digunakan banyak *rule* yang menyatakan satu atau lebih pernyataan *IF*. Suatu *rule* dapat pula mempunyai beberapa kondisi

masukan, yang satu sama lainnya dihubungkan dengan *And* atau *Or* untuk mendapatkan *rule* keluaran. Salah satu model penalaran yang banyak dipakai adalah penalaran *max-min*.

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses terakhir dalam pengambilan keputusan pada sistem *fuzzy*. Setelah keputusan diambil pada bagian penalaran maka keluaran dari sistem disesuaikan dengan perancangan. Keluaran tersebut diubah menjadi numerik, atau lingusitik melalui proses *defuzzifikasi*.

Ada dua jenis metode *defuzzifikasi* yaitu metode titik pusat (*Center of Area*) dan metode titik tengah rata – rata maksimum (*Mean of Maximum*)

1. Metode Titik Pusat (*Center Of Area (COA)*).

Metode ini membagi dua momen pertama fungsi keanggotaan, dan harga v_0 yang menandai garis pembagi adalah harga V yang terdefuzzifikasi.

Secara algoritmik dinyatakan :

$$v_0 = \frac{\int v \mu_v(v) dv}{\int \mu_v(v) dv} \quad (2.4)$$

Sedangkan dalam semesta diskrit dapat dinyatakan persamaan sebagai berikut:

$$v_0 = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_v(v_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(v_k)} \quad (2.5)$$

2. Metode Titik Tengah Maksimum (*Mean Of Maximum (MOM)*).

Merupakan metode *defuzzifikasi* yang merepresentasikan nilai titik tengah dari keluaran yang fungsi anggotanya maksimum.

Jenis Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* terdiri dari 3 jenis, yang tiap jenisnya memiliki karakteristik tersendiri. Adapun 3 jenis logika fuzzy tersebut adalah : (Arifin, 2012)

a) Logika Fuzzy Murni

Logika *fuzzy* murni didasarkan pada masukan dan keluaran yang berupa linguistik, dengan kaidah *fuzzy* seperti berikut :

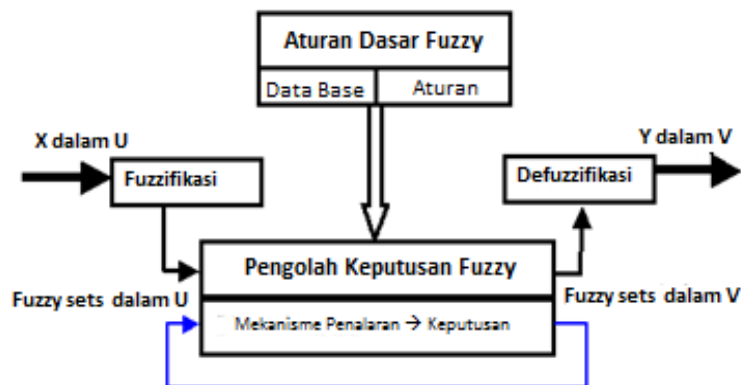
If Input x_1 is F_1 and Input x_2 is F_2 , then Output y is G



Gambar 2.3 Struktur *Fuzzy* Murni (Arifin, 2012)

b) Logika *Fuzzy* Mamdani

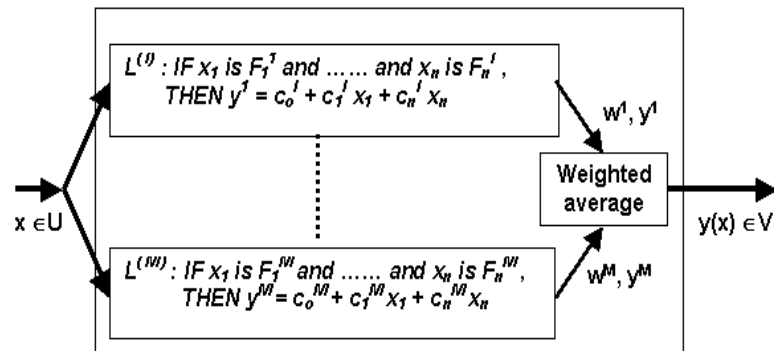
Logika *fuzzy* Mamdani didasarkan pada input dan keluaran yang berupa numerik. Adapun kaidah *fuzzy* Mamdani seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur *Fuzzy* Mamdani (Arifin, 2012)

c) Logika *Fuzzy* Takagi-Sugeno

Logika *fuzzy* Takagi-Sugeno didasarkan pada masukan linguistik dan keluaran numerik. Keluarannya berupa konstanta atau persamaan linier. Adapun kaidah *fuzzy* Takagi – Sugeno dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur Fuzzy Takagi Sugeno (Arifin, 2012)

Fuzzy Clustering

Fuzzy clustering merupakan suatu metode untuk mengelompokkan data. Jim Bezdek pada tahun 1981, memperkenalkan metode ini yang sekarang biasa disebut *Fuzzy Cluster Means* (FCM). Konsep dasar FCM, adalah data yang jumlahnya ratusan bahkan ribuan dapat dikelompokkan sesuai dengan jumlah *cluster*. Sehingga dapat diketahui pusat *cluster*, batas bawah dan batas atas dari *cluster*. Penentuan pusat *cluster* kemudian akan menandai titik rata rata untuk tiap-tiap *cluster*. Iterasi diperlukan untuk menaikkan nilai akurasi dari pusat dan batas *cluster*.

Perbedaan himpunan *fuzzy* dengan himpunan *crisp*, dimana pada himpunan *fuzzy* tiap-tiap data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap *cluster*. Perbaikan pusat *cluster* dan jumlah iterasi yang meningkat akan memperbaiki nilai keanggotaan tiap-tiap data secara berulang, sehingga pusat *cluster* pun akan menuju lokasi yang tepat.

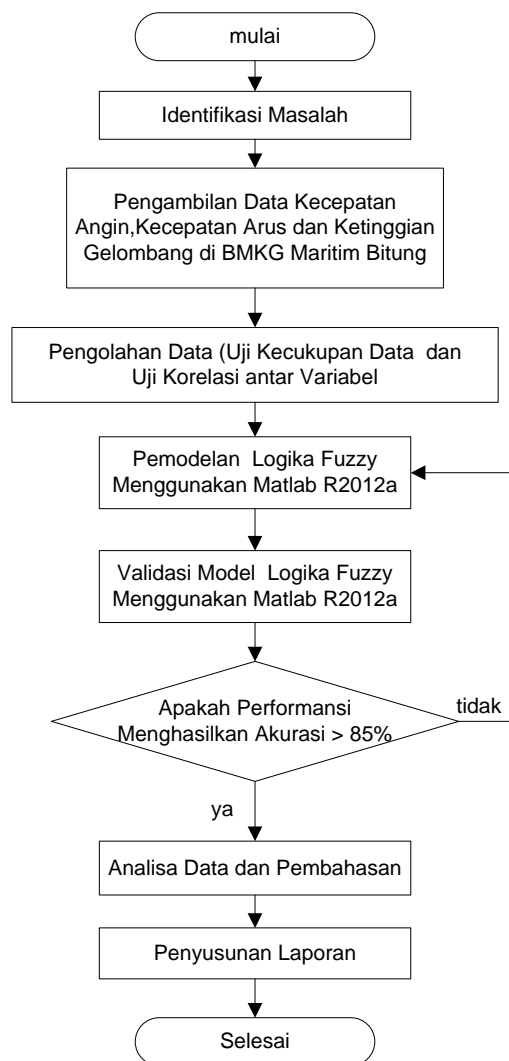
Pada perangkat lunak Matlab, terdapat fitur FCM sehingga membantu dalam melakukan *clustering* data yang kemudian akan *defuzzifikasi*.

Halaman Sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dalam penyelesaian penelitian digambarkan dalam bentuk alur diagram pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

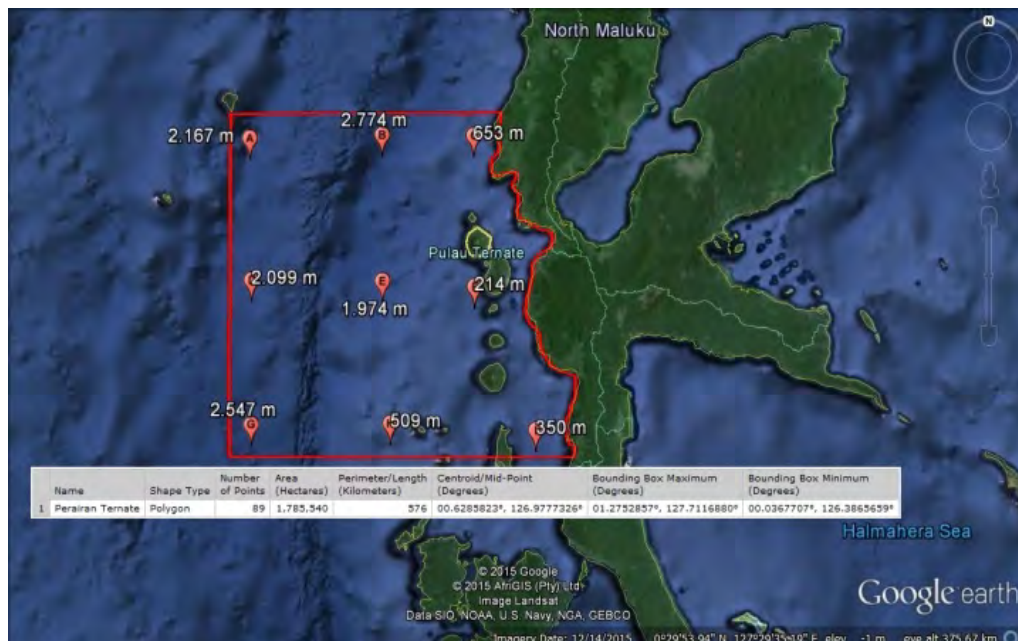
Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian dalam memprediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut di Perairan Ternate. Adapun langkah - langkah dalam penelitian sebagai berikut:

3.1 Identifikasi Masalah

Tahapan ini dimulai dengan studi literatur tentang cuaca maritim dan logika *fuzzy* berdasarkan jurnal, teori dan buku yang menunjang. Prediksi cuaca darat dan laut sudah dilakukan oleh BMKG Maritim menggunakan *Software WindWave-05* dengan menggunakan data angin sebagai masukan model. Studi tentang prediksi cuaca maritim dilakukan secara berkelanjutan untuk mendapatkan model prediktor yang tepat. Dalam penelitian ini dilakukan prediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut di Perairan Ternate Maluku Utara.

3.2 Pengambilan Data

Data yang digunakan untuk memprediksi ketinggian gelombang dan arus laut yaitu data harian dari (BMKG) Maritim Bitung berupa kecepatan angin, kecepatan arus dan ketinggian gelombang berdasarkan peramalan *Software WindWave-05* selama 5 tahun dimulai dari bulan Juli 2010 sampai bulan Juni 2015 yang direkam per 6 jam. Data cuaca maritim tersebut merupakan data cuaca maritim di Perairan Ternate Maluku Utara pada koordinat $0,6^{\circ}$ N – $127,0^{\circ}$ E.



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Data Cuaca Maritim (*Google Earth*)

Perairan Ternate berbatasan langsung dengan Sebelah Utara Samudra Pasifik dan Perairan Selatan Negara Filipina, Sebelah Selatan dan Barat dengan Laut Maluku, dan Sebelah Timur dengan Pantai Barat Halmahera.

3.3 Pengolahan Data Secara Statistik

Pengolahan data dilakukan sebelum pemodelan logika *fuzzy* ketinggian gelombang dan kecepatan arus Perairan Ternate. Data kecepatan angin, kecepatan arus dan ketinggian gelombang yang diperoleh dari BMKG Maritim Bitung dikelompokkan berdasarkan tahun kejadian untuk melihat karakteristik data cuaca di Perairan Ternate.

Tabel 3.1 Statistik Data Cuaca Maritim Perairan Ternate Per tahun

Tahun	Kecepatan Angin			Kecepatan Arus			Ketinggian Gelombang		
	(m/s)			(m/s)			(m)		
	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata
2010	0,03	4,01	1,2	$0,24 \times 10^{-2}$	$38,4 \times 10^{-2}$	$5,32 \times 10^{-2}$	0,4	2,1	1,0
2011	0,09	11,97	3,9	$0,08 \times 10^{-2}$	$146,3 \times 10^{-2}$	12×10^{-2}	0,33	3,57	1,39
2012	0,16	11,99	3,94	$0,16 \times 10^{-2}$	$91,5 \times 10^{-2}$	$12,1 \times 10^{-2}$	0,35	3,29	1,4
2013	0,15	12,23	4,0	$0,36 \times 10^{-2}$	$91,3 \times 10^{-2}$	$12,2 \times 10^{-2}$	0,35	3,32	1,41
2014	0,22	12,24	4,13	$0,45 \times 10^{-2}$	$79,8 \times 10^{-2}$	$12,3 \times 10^{-2}$	0,4	3,33	1,42
2015	0,16	9,42	3,79	$0,53 \times 10^{-2}$	$80,1 \times 10^{-2}$	$13,1 \times 10^{-2}$	0,51	3,73	1,16
Rata-rata			3,49			$11,17 \times 10^{-2}$			1,3

Sumber : olahan data BMKG

Pada Tabel 3.1, terlihat bahwa kecepatan angin maksimum terjadi pada tahun 2014 sebesar 24,00 knot atau 12,24 m/s yang mengakibatkan ketinggian gelombang mencapai 3,33 m dengan kecepatan arus sebesar 79,8 cm/s atau $0,45 \times 10^{-2}$. Rata-rata angin berhembus kencang hampir sama setiap tahunnya, tetapi pada tahun 2010 rata-rata angin tidak berhembus kencang (tergolong angin lemah/*light air* pada Skala Beaufort) yaitu sebesar 2,35 knot/tahun atau 1,2 m/s per tahun dengan rata-rata ketinggian gelombang 1,00 m/tahun dan kecepatan arus 5,32 cm/s atau $5,32 \times 10^{-2}$. Pada tahun 2011 kecepatan angin maksimum 23,48 knot atau 11,97 m/s dengan kecepatan arus $146,3 \times 10^{-2}$ m/s yang mengakibatkan ketinggian gelombang sebesar 3,57 m. Rata-rata ketinggian gelombang hampir sama setiap tahunnya, tetapi pada tahun 2010 dan 2015 ketinggian gelombang

hanya mencapai 1,00 m dan 1,16 meter dan ini tergolong ketinggian gelombang rendah sehingga tidak berbahaya bagi perahu nelayan untuk berlayar. Setelah mengelompokkan data cuaca tersebut, data yang diperoleh dilakukan pengujian korelasi dan kecukupan data. Pengujian korelasi dimaksud untuk memperoleh nilai koefisien korelasi. Nilai ini sebagai parameter yang menyebabkan seberapa kuat antara ketiga variabel cuaca tersebut yaitu kecepatan angin, kecepatan arus dan ketinggian gelombang. Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 sampai 1 (Ji and Gallo, 2006). Nilai koefisien korelasi positif terbesar adalah 1 dan nilai koefisien negatif terbesar adalah -1 sedangkan nilai koefisien korelasi terkecil adalah 0. Apabila dua variabel atau lebih memiliki nilai koefisien -1 atau 1, maka korelasi antar variabel tersebut baik, sehingga dapat memprediksi kejadian suatu variabel dengan meminimalkan *error*. Koefisien korelasi dibedakan menjadi koefisien korelasi tunggal yang dinyatakan pada persamaan (3.1) dan koefisien korelasi ganda yang dinyatakan pada persamaan (3.2) (Istiarini, 2012).

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x \sum y)}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (3.1)$$

Dengan :

r_{xy} : koefisien korelasi tunggal

n : jumlah data

$$R_{yx1x2} = \sqrt{\frac{r_{yx1}^2 + r_{yx2}^2 - 2r_{yx1}r_{yx2}r_{x1x2}}{1 - r_{x1x2}^2}} \quad (3.2)$$

Dengan :

R_{yx1x2} : koefisien korelasi ganda antara variabel x_1 dan x_2 secara bersama-sama dengan variabel y

r_{yx1} : koefisien korelasi antara x_1 dan y

r_{yx2} : koefisien korelasi antara x_2 dan y

r_{x1x2} : koefisien korelasi antara x_1 dan x_2

Pada Tabel 3.1 menunjukkan nilai koefisien korelasi tunggal antara ketinggian gelombang dengan kecepatan angin dan kecepatan arus serta nilai koefisien korelasi ganda antara ketinggian gelombang, kecepatan angin dan kecepatan arus.

Tabel 3.2 Uji Korelasi Tunggal Dan Ganda

Uji Korelasi	Variabel Cuaca Laut	Ketinggian Gelombang
Tunggal	Kecepatan Angin	0,798
	Kecepatan Arus	0,641
Ganda	Kecepatan Angin dan Arus	0,823

Pada Tabel 3.2 terlihat bahwa koefisien korelasi tunggal antara ketinggian gelombang dan kecepatan angin sangat kuat karena mendekati nilai 1. Sedangkan untuk ketinggian gelombang dengan kecepatan arus memiliki nilai korelasi yang lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan angin.

Uji kecukupan data dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah mencukupi untuk diproses dengan pemodelan *fuzzy* atau belum. Apabila nilai dari hasil kecukupan data lebih kecil dari jumlah pengambilan data maka data telah mencukupi dan sebaliknya (Nofirza, 2011). Uji kecukupan data ditentukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.3).

$$\hat{N} = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}}{\Sigma x} \right]^2 \quad (3.3)$$

Dengan :

\hat{N} : jumlah data yang seharusnya diambil

s : tingkat ketelitian, penyimpangan maksimum hasil peramalan dari data sebenarnya (untuk k = 95% dan s = 5% ; k/s = 40)

k : tingkat keyakinan pengukur bahwa hasil yang diperoleh memenuhi syarat ketelitian.

n : jumlah data yang telah diambil

Pada penelitian ini hasil uji kecukupan data pada ketiga variabel cuaca laut telah memenuhi kecukupan data sehingga data dapat digunakan untuk perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut di Perairan Ternate. Pada tabel 3.3 ditunjukkan hasil uji kecukupan data.

Tabel 3.3 Uji Kecukupan Data Variabel Cuaca Maritim

Variabel Cuaca Laut	Jumlah Pengambilan Data	Hasil Uji Kecukupan Data	Kategori
Ketinggian Gelombang	7304	690	Cukup
Kecepatan Angin	7304	1671	Cukup
Kecepatan Arus	7304	450	Cukup

Adapun hasil dekripsi statistik dari data kecepatan angin (knot), ketinggian gelombang(m) dan kecepatan arus (cm/s) yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.4 Deskripsi Statistik Variabel Cuaca Maritim Perairan Ternate

No	Deskripsi Statistik	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Arus (m/s)	Tinggi Gelombang (m)
1	<i>Mean</i>	3,971	$12,3 \times 10^{-2}$	1,379
2	<i>Median</i>	3,559	$9,15 \times 10^{-2}$	1,300
3	<i>Mode</i>	2,55	8×10^{-2}	0,870
4	<i>Standard Deviation</i>	2,129	$11,2 \times 10^{-2}$	0,545
5	<i>Kurtosis</i>	0,052	$14,7 \times 10^{-2}$	0,438
6	<i>Skewness</i>	0,390	$2,9 \times 10^{-2}$	0,774
7	<i>Range</i>	12,148	146×10^{-2}	3,400
8	<i>Minimum</i>	0,023	$0,08 \times 10^{-2}$	0,330
9	<i>Maximum</i>	12,24	$146,3 \times 10^{-2}$	3,730
10	<i>Count</i>	7304	7304	7304

3.4 Pemodelan Logika Fuzzy

3.4.1 Penentuan Jumlah Data Pada Proses Pelatihan dan Validasi

Pada penelitian ini, data yang diperoleh dari BMKG Maritim Bitung dibagi menjadi data untuk proses pelatihan dan data untuk validasi. Komposisi 80% data yang digunakan untuk proses pelatihan dan 20% data untuk validasi

(Kamranzad, 2011; Vimala et al, 2014). Data yang digunakan sebagai pelatihan sebanyak 6580 data (data bulan Juli 2010 – Juni 2014) dan data yang digunakan untuk validasi sebanyak 724 data (data bulan Januari - Juni 2015). Data pelatihan digunakan untuk melatih kemampuan model dan data validasi digunakan untuk menguji kemampuan model.

Pada penelitian ini perancangan prediktor cuaca maritim berupa ketinggian gelombang dan kecepatan arus sebagai tahapan awal pada pemodelan logika *fuzzy*. Kemudian dilanjutkan dengan beberapa tahapan operasional lainnya yaitu *fuzzifikasi* (penentuan fungsi keanggotaan), *Rule base* (basis pengetahuan), *Inference machine* (penalaran) dan *defuzzifikasi*.

3.4.2 Perancangan Prediktor Cuaca Maritim

Pada penelitian ini perancangan prediktor cuaca maritim yang digunakan adalah prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus. Perancangan prediktor dilakukan dengan 3 model/skenario yaitu perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut Model A, perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut Model B dan perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut Model C.

3.4.2.1 Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Laut Model A

Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang 6 Jam Ke depan

Pada perancangan ini menggunakan 3 variabel masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok Diagram Ketinggian Gelombang Model A

Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan.

❖ *Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)*

Penentuan fungsi keanggotaan dilakukan setelah data kecepatan angin, ketinggian gelombang dan kecepatan arus dikelompokkan menggunakan Fuzzy Cluster Mean (FCM) berdasarkan derajat keanggotaannya. FCM berfungsi menentukan nilai minimum, maksimum, dan titik tengah yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan. Data yang digunakan pada tahapan ini adalah 6580 data dengan 7 fungsi keanggotaan (*membership function*).

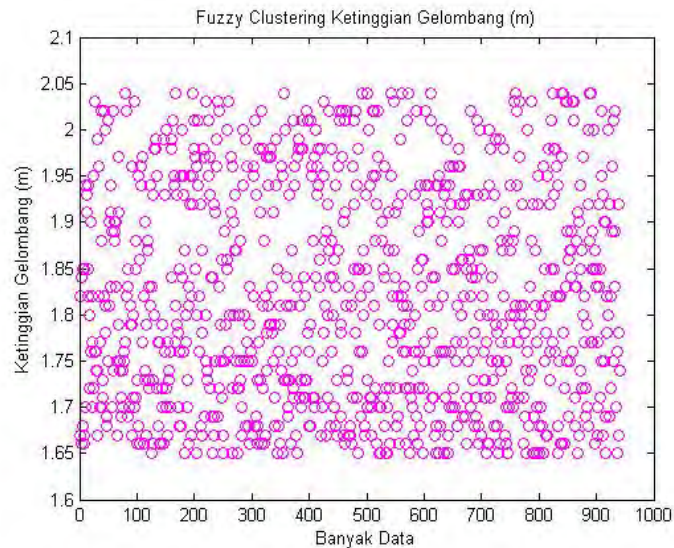
Pada penelitian ini, digunakan perangkat lunak matlab R2012a untuk menjalankan metode *Fuzzy Cluster Mean*. Adapun *syntax Fuzzy Cluster Means* di perangkat lunak matlab R2012a adalah

$$[\text{center}, \text{U}, \text{obj_fcn}] = \text{fcm}(\text{data}, \text{cluster_n})$$

Berdasarkan manual matlab R2012a, didapatkan penjelasan mengenai *syntax* diatas, yaitu:

- data : kumpulan data akan dikelompokkan; setiap baris adalah data sampel titik.
- cluster_n : jumlah dari cluster (lebih dari satu) penjelasan output fungsi ini
- center : matriks pusat cluster akhir dimana setiap baris menyediakan pusat koordinat.
- U : matriks partisi fuzzy akhir (atau fungsi keanggotaan matriks).
- obj_fcn : nilai-nilai fungsi objektif selama iterasi

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat distribusi persebaran data ketinggian gelombang cluster/kategori *Moderate* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

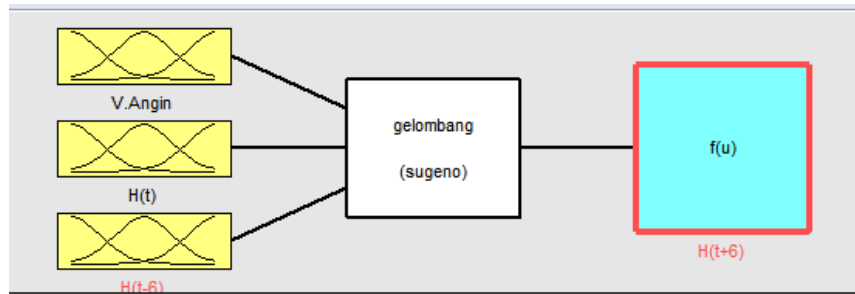


Gambar 3.4 Contoh FCM Ketinggian Gelombang Model A

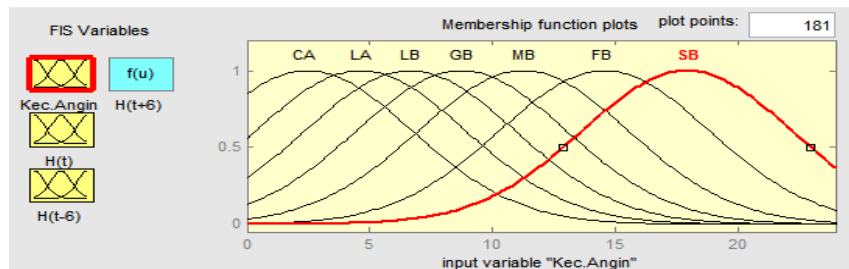
Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 dan 1. Fungsi-fungsi keanggotaan variabel masukan dan keluaran didefinisikan melalui *membership function editor* pada Matlab. Dengan *membership function editor* kita dapat menampilkan dan mengedit semua fungsi keanggotaan dari variabel FIS masukan dan keluaran. Salah satu cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Terdapat beberapa jenis kurva pada matlab yaitu *trimf*, *trapmf*, *gbellmf*, *gaussmf*, *gauss2mf*, *pimf*, *sigmf*, *smf*, *zmf*, *dsigmf* serta *psigmf*. Pemilihan kurva *gaussmf* didasarkan beberapa referensi jurnal yang menyatakan kurva *gaussmf* memiliki kinerja terbaik dalam memprediksi cuaca. Pemilihan kurva *gaussmf* juga dikarenakan cuaca bersifat kontinu. *Fuzzy Inference System* menggunakan metode *fuzzy* tipe Takagi-Sugeno. Tipe ini digunakan karena keluaran yang diinginkan berupa numerik dan persamaan linier.

Proses *fuzzifikasi* untuk prediksi ketinggian gelombang Model A ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5-3.9. Pada FIS editor tersebut terdiri dari 7 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan, 1 keluaran dan 49 *rule*. Metode

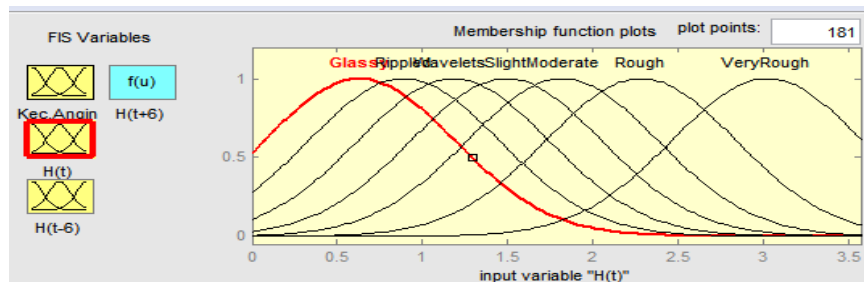
defuzzification dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*).



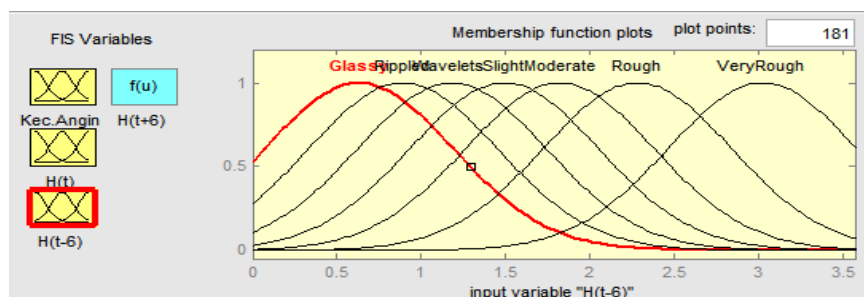
Gambar 3.5 Perancang FIS Ketinggian Gelombang Model A



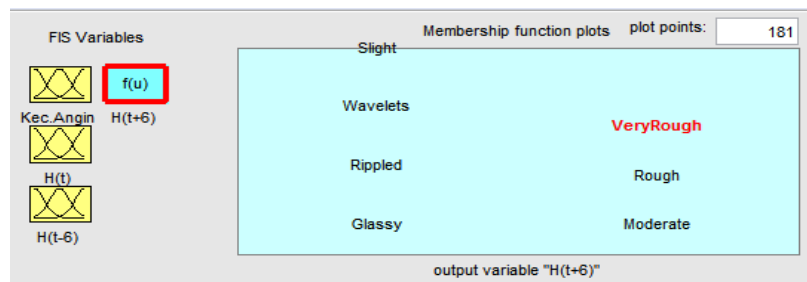
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual (U(t)) Model A



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual (H(t)) Model A



Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang 6 jam sebelumnya (H(t-6)) Model A

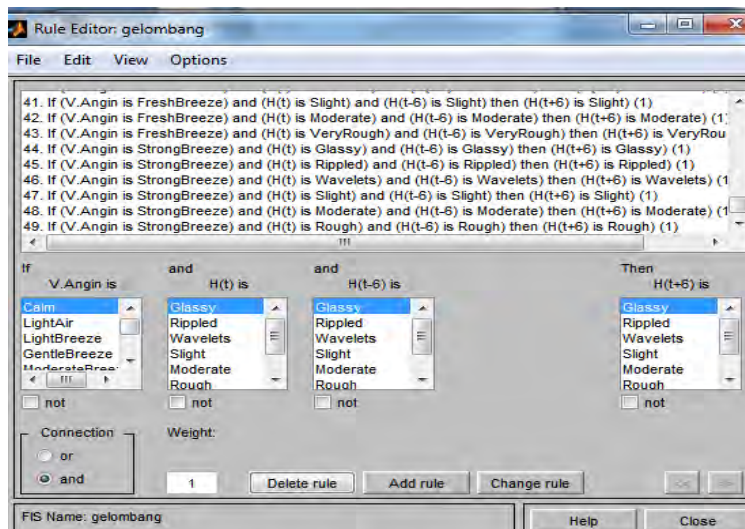


Gambar 3.9 Tampilan FIS Untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model A

Pada Gambar 3.5 terlihat bahwa perancangan FIS ketinggian gelombang Model A terdiri dari 3 variabel masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), tinggi gelombang aktual ($H(t)$), tinggi gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) dan 1 keluaran untuk prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$). Gambar 3.6 adalah fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$) yang terdiri dari 7 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze*, *GentleBreeze*, *ModerateBreeze*, *FreezeBreeze* dan *StrongBreeze*. Gambar 3.7 dan 3.8 adalah fungsi keanggotaan ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-6)$) yang terdiri dari 7 kategori yaitu *Glassy*, *Rippled*, *Wavelets*, *Slight*, *Moderate*, *Rought* dan *VeryRought*. Sedangkan Gambar 3.9 adalah tampilan FIS untuk keluaran ketinggian gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) dengan 7 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.7 dan 3.8. Gambar-gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ Rule Base (Basis Pengetahuan)

Rule base berisi pernyataan-pernyataan logika fuzzy, yang berbentuk pernyataan *If-Then*. *Rule base* ini terdiri dari kumpulan aturan peramalan cuaca yang berbasis logika fuzzy untuk menyatakan kondisi cuaca yang terjadi. Penyusunan *rule base* sangat berpengaruh pada presisi model, pada tahap pengambilan keputusan ditentukan berdasarkan rancangan *rule base*. Aturan *If-Then* dihubungkan dengan logika operasi *And* karena semua aturan saling bergantung dan mempengaruhi. Tampilan *rule base* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan Rule Editor Untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang Model A

Tampilan *rule editor* untuk keluaran ketinggian gelombang model A menggunakan 49 *rule base*, didalam *rule base* tersebut terdapat 7 fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.

Algoritma *rule base* ketinggian gelombang sebagai berikut:

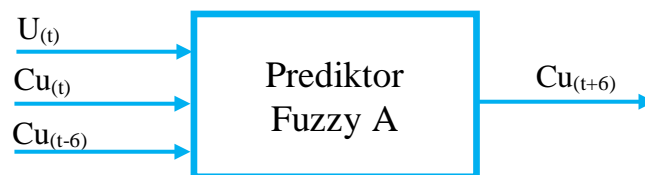
1. *If(Kec.Angin is Calm) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy) then (H(t+6) is Glassy)*
 2. *If(Kec.Angin is LightAir) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled) then (H(t+6) is Rippled)*
 3. *If(Kec.Angin is LightBreeze) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet)*
 4. *If(Kec.Angin is GentleBreeze) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight)) then (H(t+6) is Slight)*
 5. *If(Kec.Angin is ModerateBreeze) and (H(t) is Moderate) and (H(t-6) is Moderate) then (H(t+6) is Moderate)*
 6. *If (Kec.Angin is FreshBreeze) and (H(t) is Rough) and (H(t-6) is Rough) then (H(t+6) is Rough)*
- Dst*

49. If ($H(t)$ is *StrongBreeze*) and ($H(t-6)$ is *StrongBreeze*) then ($H(t+6)$ is *StrongBreeze*)

Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

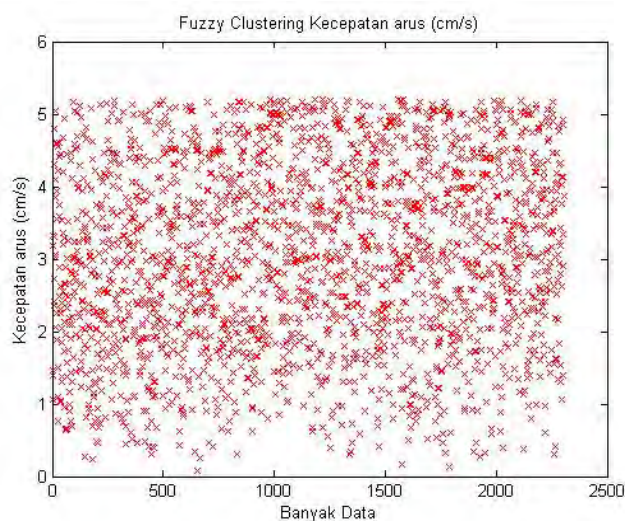
Perancangan Prediktor Kecepatan Arus 6 Jam Ke depan

Pada perancangan ini menggunakan 7 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus sebelumnya ($Cu(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Blok Diagram Kecepatan Arus Model A

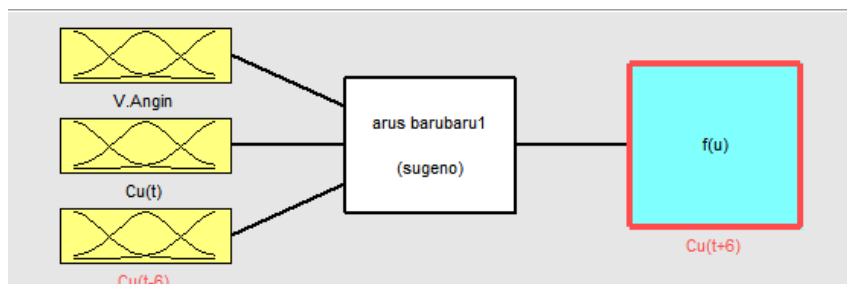
Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor kecepatan arus 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan. Pada Gambar 3.12 dapat dilihat distribusi persebaran data kecepatan arus cluster/kategori *Slow* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.



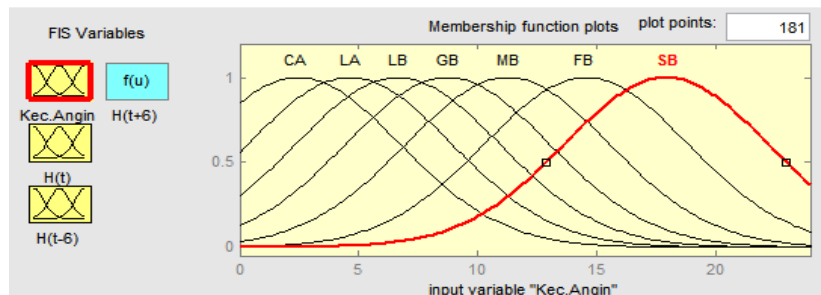
Gambar 3.12 Contoh FCM kecepatan Arus Model A

❖ **Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)**

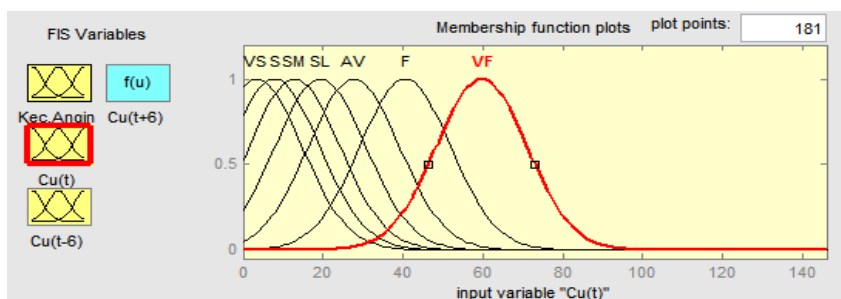
Proses *fuzzifikasi* untuk kecepatan arus dapat ditunjukkan pada Gambar 3.13- 3.17. Pada FIS editor tersebut juga terdiri dari 3 variabel masukan, 1 keluaran dan 49 rules. Metode *defuzzification* dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*). Pada Gambar 3.13 merupakan tampilan FIS editor untuk memprediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) dengan masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$).



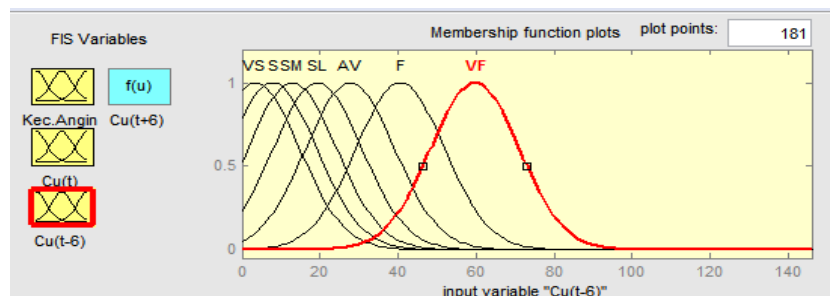
Gambar 3.13 Perancangan FIS Kecepatan Arus Model A



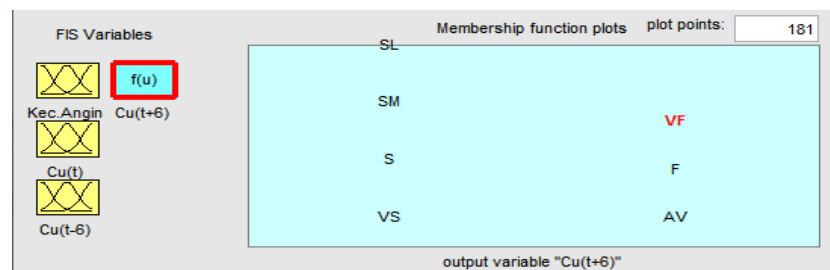
Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model A



Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Aktual ($Cu(t)$) Model A



Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) Model A

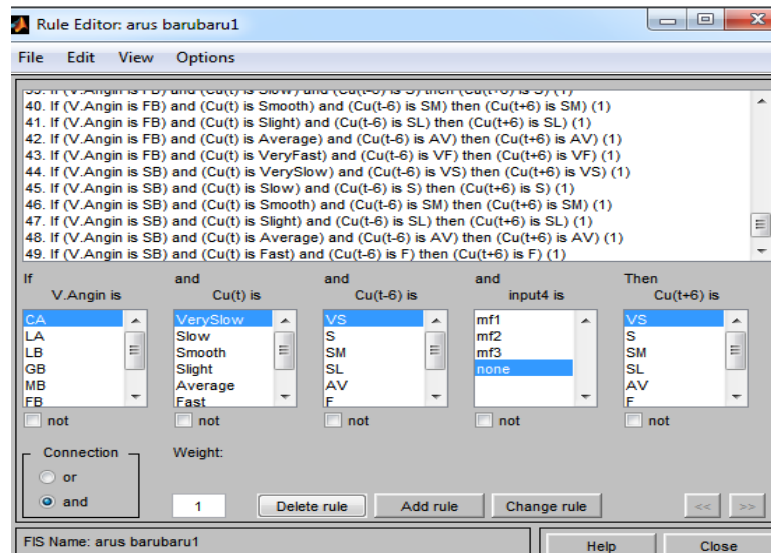


Gambar 3.17 Tampilan FIS Untuk Keluaran Prediksi Kecepatan Arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) Model A

Gambar 3.14 adalah fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$) yang terdiri dari 7 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze*, *GentleBreeze*, *ModerateBreeze*, *FreezeBreeze* dan *StrongBreeze*. Gambar 3.15 dan 3.16 adalah fungsi keanggotaan kecepatan arus aktual ($Cu(t)$ dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) yang terdiri dari 7 kategori yaitu *VerySlow*, *Slow*, *Smooth*, *Slight*, *Average*, *Fast* dan *VeryFast*. Sedangkan Gambar 3.17 adalah tampilan FIS untuk keluaran prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) dengan 7 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.15. Gambar-gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi kecepatan arus 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ Rule Base (Basis Pengetahuan)

Rule base pada prediksi kecepatan arus model A dapat ditunjukkan pada Gambar 3.18. Tampilan *rule editor* untuk keluaran kecepatan arus model ini menggunakan 49 *rule*, didalam *rule base* tersebut terdapat 7 fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.



Gambar 3.18 Tampilan Rule Editor Keluaran Prediksi Kecepatan Arus Model A

Algoritma *rule base* kecepatan arus adalah

1. *If(Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) then (Cu(t+6) is VerySlow)*
2. *If(Kec.Angin is LightAir) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) then (Cu(t+6) is Slow)*
3. *If(Kec.Angin is LightBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (H(t+1) is Smooth)*
4. *If(Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) then (Cu(t+6) is Slight)*
- Dst*
49. *If(Kec.Angin is StrongBreeze) and (Cu(t) is Fast) and (Cu(t-6) is Fast) then (Cu(t+6) is Fast)*

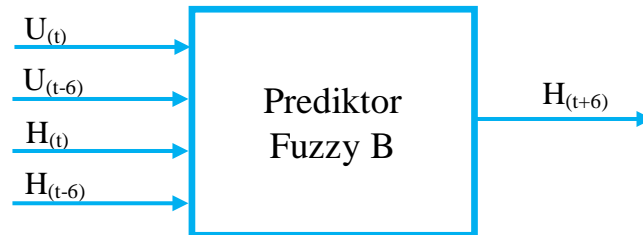
Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

3.4.2.2 Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Model B

🚦 Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang 6 Jam Ke depan

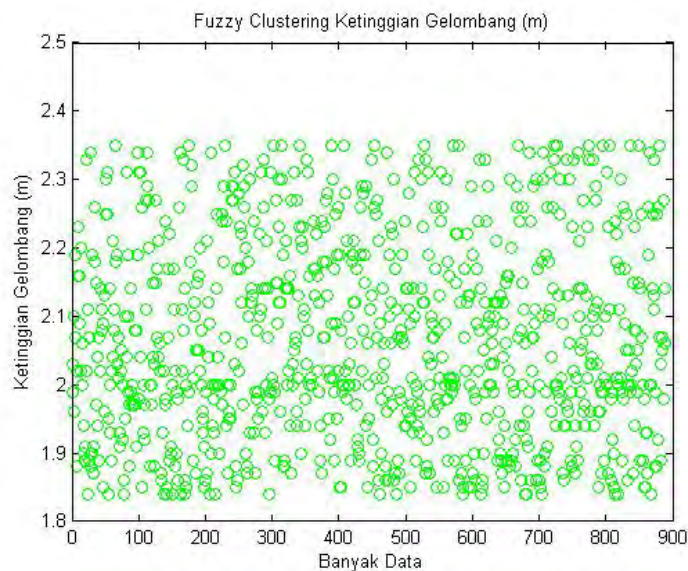
Pada perancangan ini menggunakan 5 fungsi keanggotaan dengan 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian

gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Blok Diagram Ketinggian Gelombang Model B

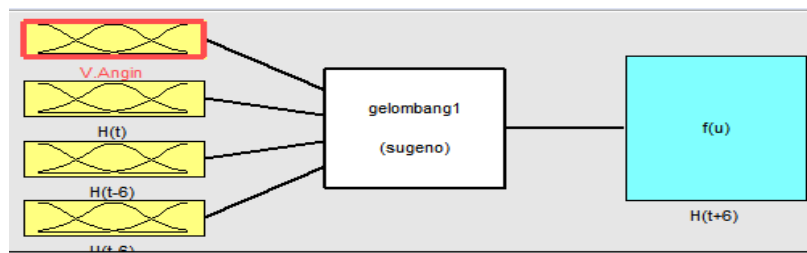
Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan. Pada Gambar 3.20 dapat dilihat distribusi persebaran data ketinggian gelombang cluster/kategori *Wavelet* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.



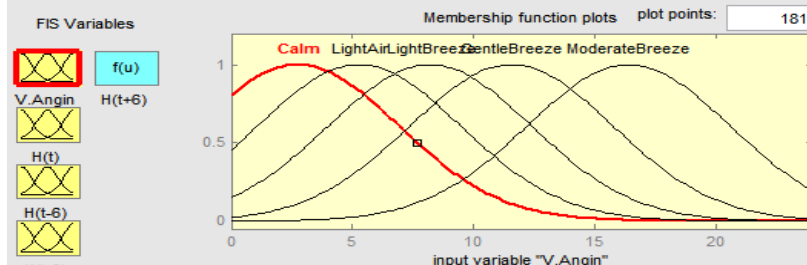
Gambar 3.20 Contoh FCM Ketinggian Gelombang Model B

❖ **Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)**

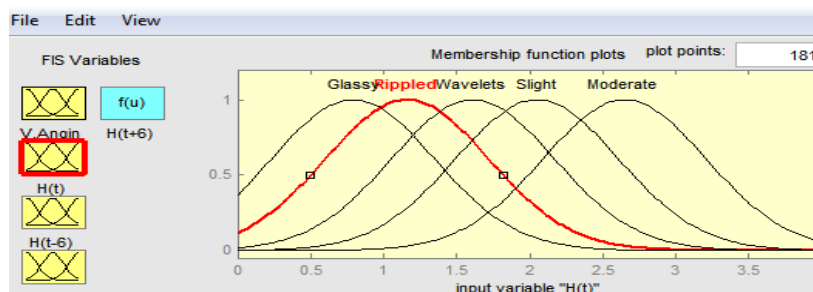
Proses *fuzzifikasi* untuk ketinggian gelombang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.21-3.26. Pada FIS editor tersebut terdiri dari 4 variabel masukan, 1 keluaran dan 25 *rule*. Metode *defuzzification* dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*).



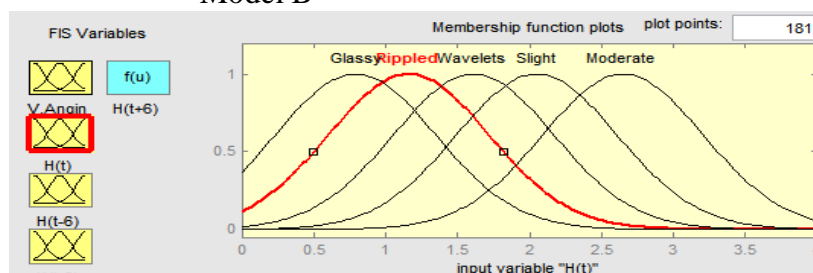
Gambar 3.21 Perancangan FIS Ketinggian Gelombang Model B



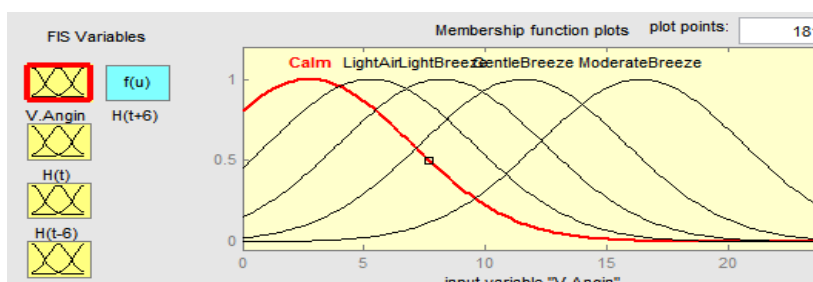
Gambar 3.22 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model B



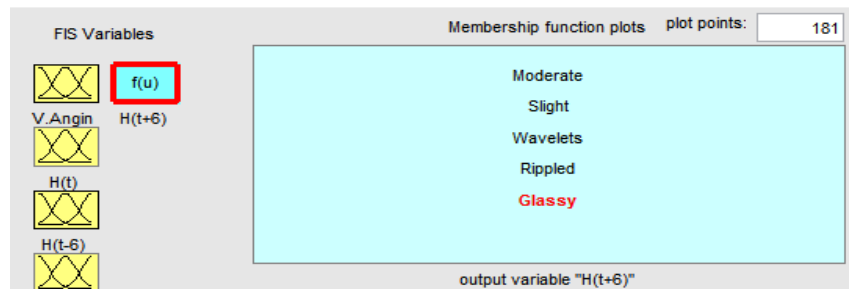
Gambar 3.23 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual ($H(t)$) Model B



Gambar 3.24 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) Model B



Gambar 3.25 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$) Model B

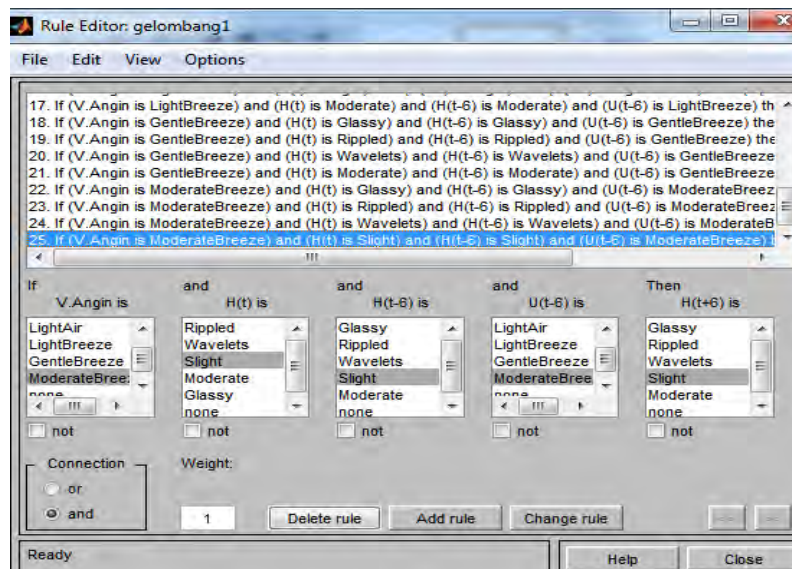


Gambar 3.26 Tampilan FIS Untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model B

Pada Gambar 3.21 adalah perancangan FIS ketinggian gelombang Model B dengan 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$). Gambar 3.22 dan 3.25 adalah fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$ dan sebelumnya ($U(t-6)$) yang terdiri dari 5 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze*, *GentleBreeze* dan *ModerateBreeze*. Gambar 3.23 dan 3.24 adalah fungsi keanggotaan ketinggian gelombang aktual ($H(t)$ dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-6)$) dengan kurva *Gaussian* yang terdiri dari 5 kategori yaitu *Glassy*, *Rippled*, *Wavelets*, *Slight* dan *Moderate*. Sedangkan Gambar 3.26 adalah tampilan FIS untuk keluaran prediksi ketinggian gelombang 6 jam kedepan ($H(t+6)$) Model B dengan 5 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.24. Gambar-gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ *Rule Base* (Basis Pengetahuan)

Pada perancangan ini, Tampilan *rule base* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Tampilan Rule Editor Untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang Model B

Tampilan *rule editor* untuk keluaran prediksi ketinggian gelombang Model B terdapat 25 *rule*, didalam *rule base* tersebut terdapat 5 kategori/fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.

Algoritma *rule base* ketinggian gelombang sebagai berikut:

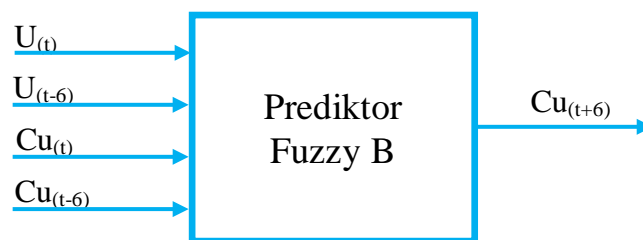
1. *If*(Kec.Angin ($U(t)$ is Calm) and ($H(t)$ is Glassy) and ($H(t-6)$ is Glassy) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is Calm) then ($H(t+6)$ is Glassy
2. *If*(Kec.Angin is LightAir) and ($H(t)$ is Rippled) and ($H(t-6)$ is Rippled) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is LA) then ($H(t+6)$ is Rippled
3. *If*(Kec.Angin is LightBreeze) and ($H(t)$ is Wavelet) and ($H(t-6)$ is Wavelet) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is LB) then ($H(t+6)$ is Wavelet
4. *If*(Kec.Angin is GentleBreeze) and ($H(t)$ is Slight) and ($H(t-6)$ is Slight)) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is GB) then ($H(t+6)$ is Slight)
5. *If*(Kec.Angin is ModerateBreeze) and ($H(t)$ is Moderate) and ($H(t-6)$ is Moderate) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is MB) then ($H(t+6)$ is Moderate
6. *If*(Kec.Angin is LightAir) and ($H(t)$ is Rippled) and ($H(t-6)$ is Rippled) and ($Kec.Angin$ ($U(t-6)$ is LA) then ($H(t+6)$ is Rippled.

Dst

25. *If(Kec.Angin ($U(t)$ is ModerateBreeze) and ($H(t)$ is Slight) and ($H(t-6)$ is Slight) and ($Kec.Angin (U(t-6)$ is MB) then ($H(t+6)$ is Slight*
 Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

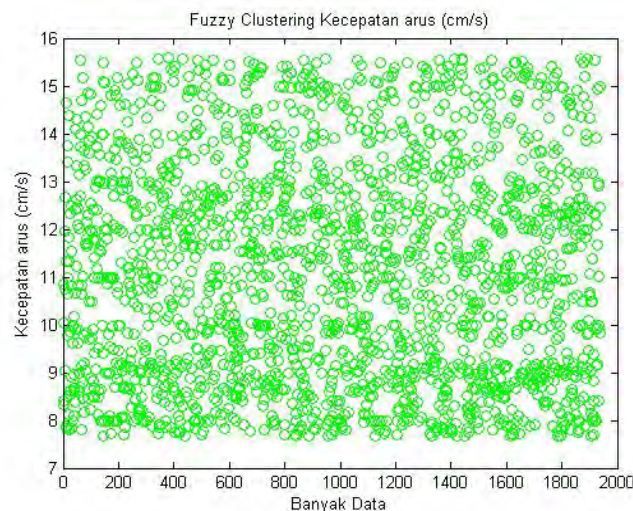
Perancangan Prediktor Kecepatan Arus 6 Jam Ke depan

Pada perancangan model ini menggunakan 5 fungsi keanggotaan untuk 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Blok Diagram Kecepatan Arus Model B

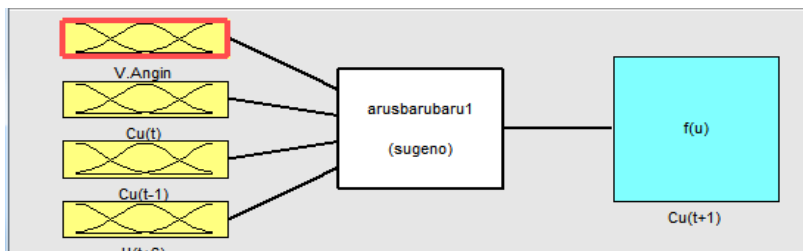
Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor kecepatan arus 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan. Pada Gambar 3.29 dapat dilihat distribusi persebaran data kecepatan arus cluster/kategori *Smooth* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.



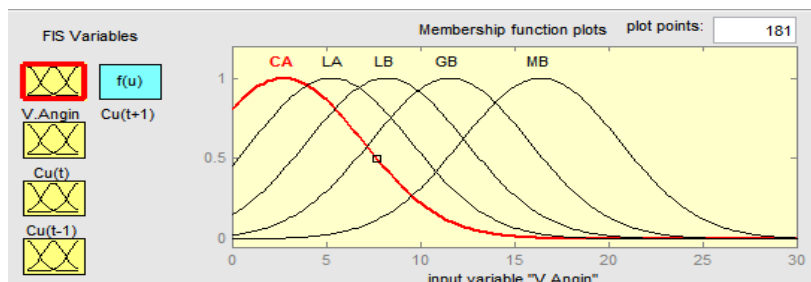
Gambar 3.29 Contoh FCM kecepatan Arus Model B

❖ Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)

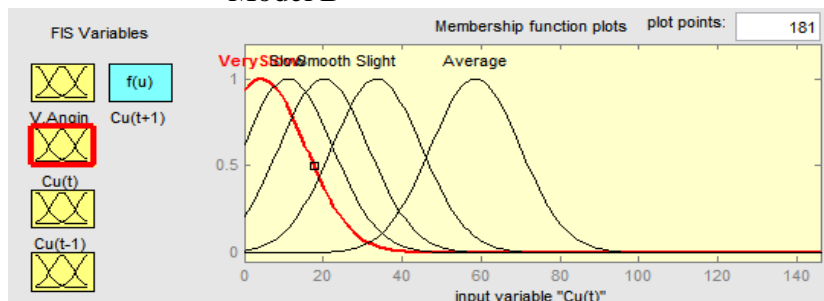
Proses *fuzzifikasi* untuk kecepatan arus dapat ditunjukkan pada Gambar 3.30- 3.35. Pada FIS editor tersebut juga terdiri dari 4 variabel masukan, 1 keluaran dan 25 *rule*. Metode *defuzzification* dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*). Pada Gambar 3.30 merupakan tampilan FIS editor untuk memprediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) dengan masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$).



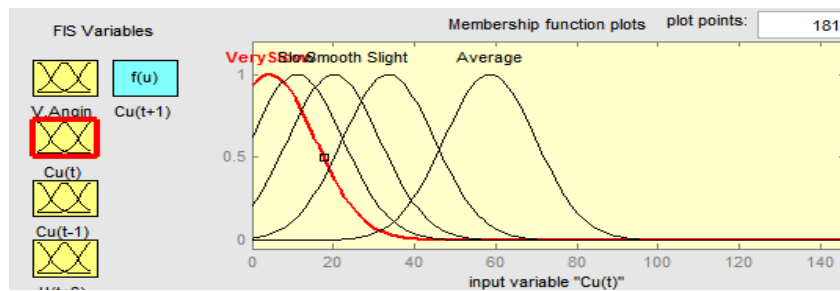
Gambar 3.30 Perancangan FIS Kecepatan Arus Model B



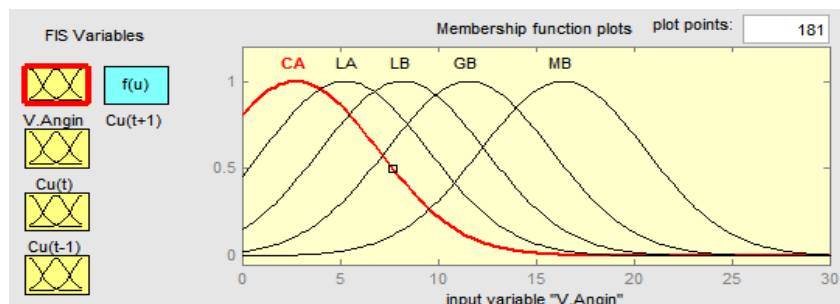
Gambar 3.31 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model B



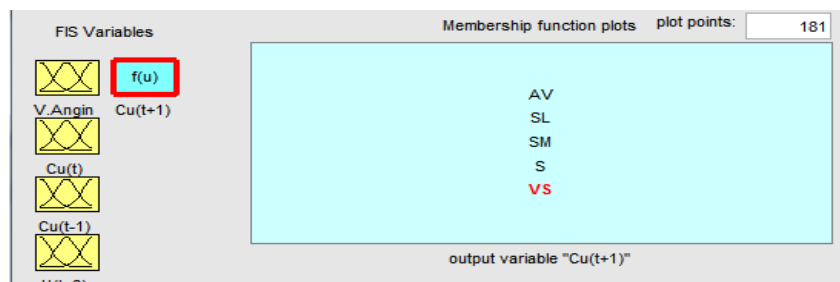
Gambar 3.32 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus Aktual ($Cu(t)$) Model B



Gambar 3.33 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) Model B



Gambar 3.34 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$) Model B

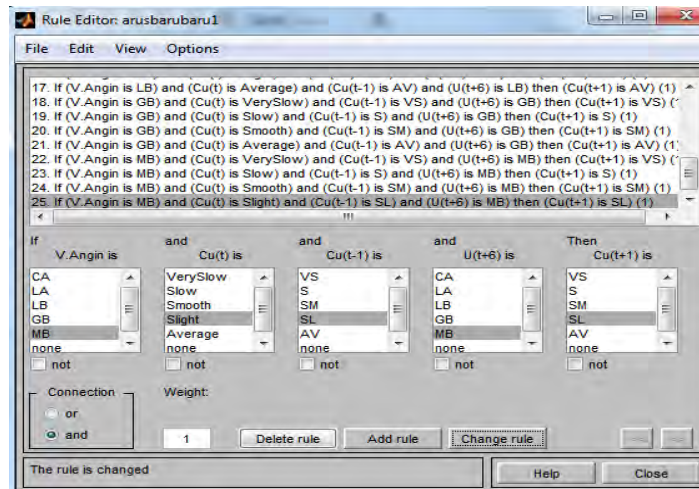


Gambar 3.35 Tampilan FIS Untuk Keluaran Prediksi Kecepatan Arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) Model B

Gambar 3.31 dan 3.34 adalah fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$) yang terdiri dari 5 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze*, *GentleBreeze* dan *ModerateBreeze*. Gambar 3.32 dan 3.33 adalah fungsi keanggotaan kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus sebelumnya ($Cu(t-6)$) yang terdiri dari 5 kategori yaitu *VerySlow*, *Slow*, *Smooth*, *Slight* dan *Average*. Sedangkan Gambar 3.35 adalah tampilan FIS untuk keluaran prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) dengan 7 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.33. Gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi kecepatan arus 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ Rule Base (Basis Pengetahuan)

Rule base pada prediksi kecepatan arus Model B dapat ditunjukkan pada Gambar 3.36.



Gambar 3.36 Tampilan Rule Editor Keluaran Prediksi Kecepatan Arus Model B

Tampilan *rule editor* untuk keluaran ketinggian gelombang Model B terdapat 25 *rule base*, didalam *rule base* tersebut terdapat 5 kategori/fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.

Algoritma *rule base* kecepatan arus adalah

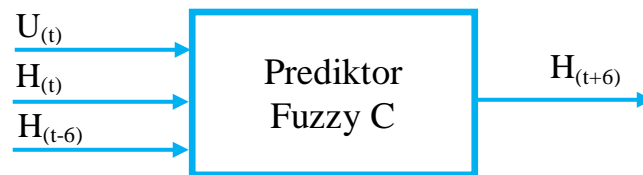
1. *If(Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) and (Kec.Angin (U(t-6) is Calm) then (Cu(t+6) is VerySlow*
2. *If(Kec.Angin is LightAir) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) and (Kec.Angin (U(t-6) is LA) then (Cu(t+6) is Slow*
3. *If(Kec.Angin is LightBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) and (Kec.Angin (U(t-6) is LB) then (H(t+1) is Smooth*
4. *If(Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) and (Kec.Angin (U(t-6) is GB) then (Cu(t+6) is Slight*
5. *Dst*
25. *If(Kec.Angin is ModerateBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) and (Kec.Angin (U(t-6) is MB) then (Cu(t+6) is Slight*

Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

3.4.2.3 Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus Model C

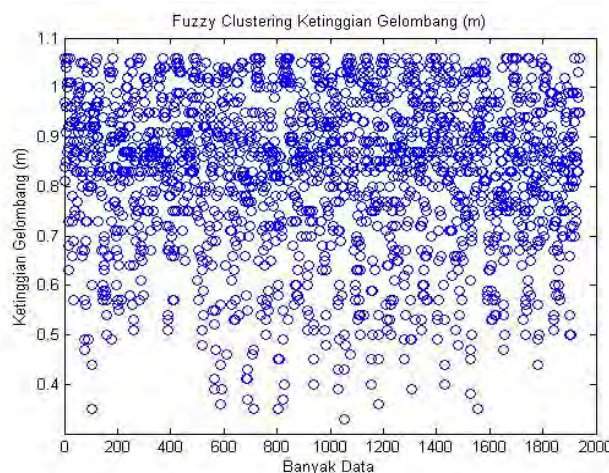
Perancangan Prediktor Ketinggian Gelombang 6 Jam Ke depan

Pada perancangan ini menggunakan 4 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.37.



Gambar 3.37 Blok Diagram Ketinggian Gelombang Model C

Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan. Pada Gambar 3.38 dapat dilihat distribusi persebaran data ketinggian gelombang cluster/kategori *Glassy* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

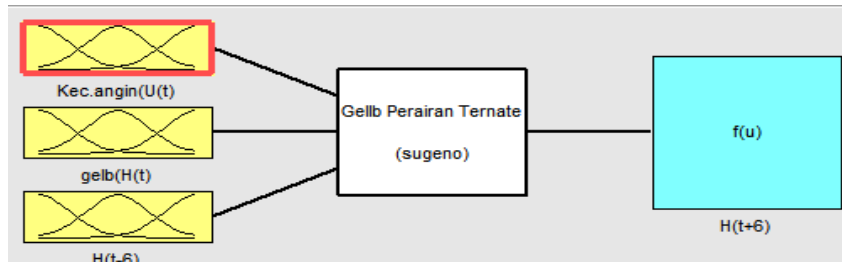


Gambar 3.38 Contoh FCM Ketinggian Gelombang Model C

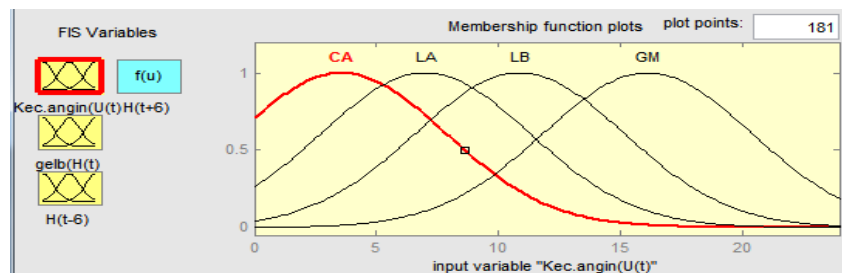
❖ Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)

Proses *fuzzifikasi* untuk ketinggian gelombang Model C dapat ditunjukkan pada Gambar 3.39- 3.43. Pada FIS editor tersebut terdiri dari 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual

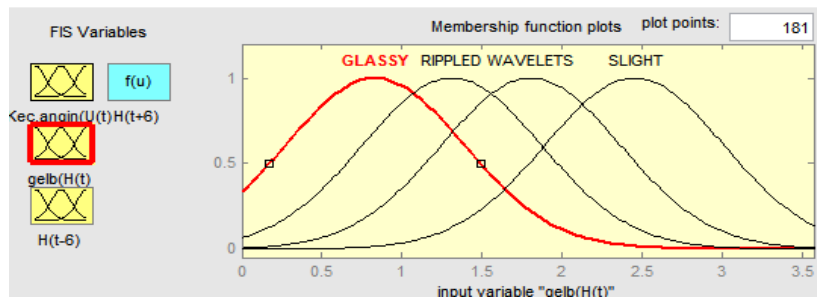
($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$), 1 keluaran dan 16 *rule*. Metode *defuzzification* dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*).



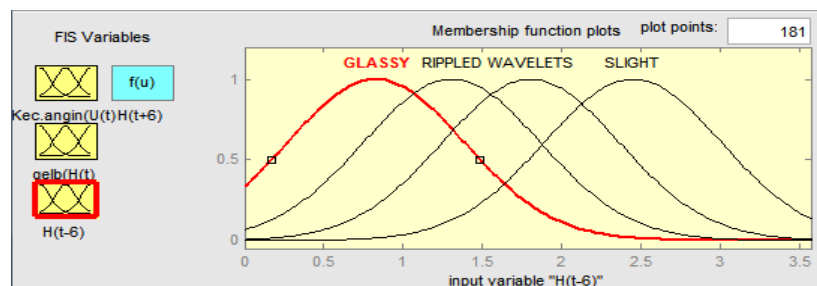
Gambar 3.39 Perancangan FIS Ketinggian Gelombang Model C



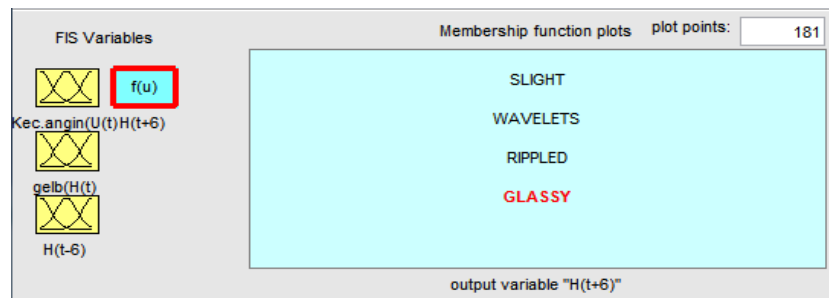
Gambar 3.40 Fungsi keanggotaan Kecepatan Angin Aktual($U(t)$) Model C



Gambar 3.41 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Gelombang Aktual ($H(t)$) Model C



Gambar 3.42 Fungsi keanggotaan Ketinggian Gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) Model C

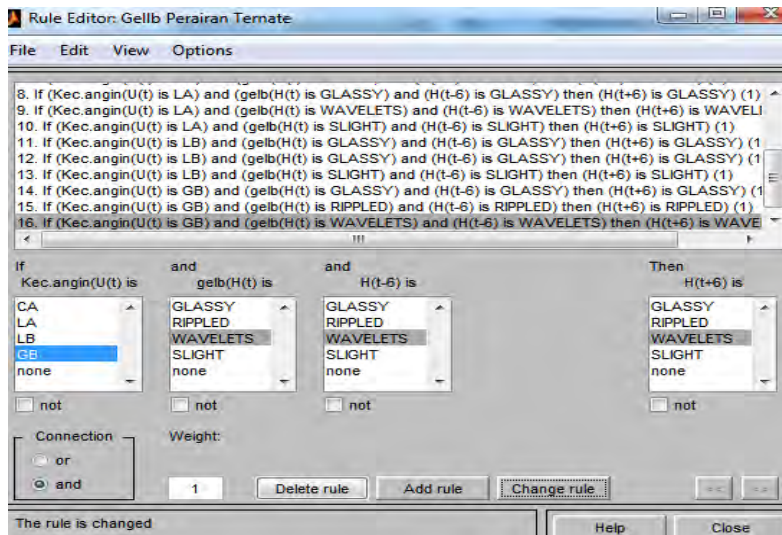


Gambar 3.43 Tampilan FIS untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model C

Pada Gambar 3.40 terlihat bahwa fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$) terdiri dari 4 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze*, *GentleBreeze* dan *ModerateBreeze*. Gambar 3.41 dan 3.42 adalah fungsi keanggotaan ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang sebelumnya ($H(t-6)$) yang terdiri dari 4 kategori yaitu *Glassy*, *Rippled*, *Wavelets* dan *Slight*. Sedangkan Gambar 3.43 adalah tampilan FIS untuk keluaran prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model C dengan 4 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.41. Gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi ketinggian gelombang 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ Rule Base (Basis Pengetahuan)

Pada perancangan ini, Tampilan *rule base* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.44. Tampilan *rule editor* untuk keluaran prediksi ketinggian gelombang Model ini menggunakan 16 *rule*, didalam *rule base* tersebut terdapat 4 kategori/fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.



Gambar 3.44 Tampilan Rule Editor Untuk Keluaran Prediksi Ketinggian Gelombang Model C

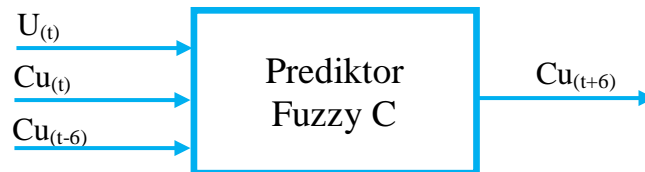
Algoritma *rule base* ketinggian gelombang adalah

1. *If (Kec.Angin (U(t) is Calm) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy) then (H(t+6) is Glassy*
2. *If (Kec.Angin (U(t) is LightAir) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled) then (H(t+6) is Rippled*
3. *If (Kec.Angin (U(t) is LightBreeze) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet*
4. *If (Kec.Angin (U(t) is GentleBreeze) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight)) then (H(t+6) is Slight)*
5. *If (Kec.Angin (U(t) is Calm) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet*
6. *If (Kec.Angin (U(t) is GentleBreeze) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled)) then (H(t+6) is Rippled*
- Dst*
16. *If (Kec.Angin (U(t) is GentleBreeze) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet)) then (H(t+6) is Wavelet*

Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

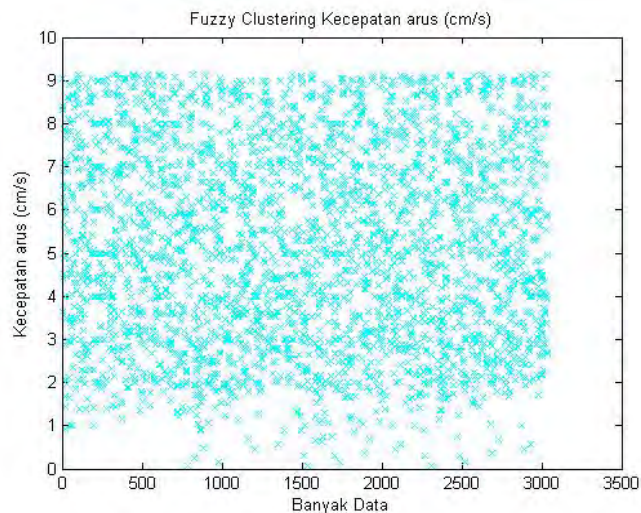
❖ Perancangan Prediktor Kecepatan Arus 6 Jam Ke depan

Pada perancangan ini menggunakan 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$). Diagram blok perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.45.



Gambar 3.45 Blok Diagram Kecepatan Arus Model C

Blok diagram ini juga digunakan untuk prediktor kecepatan arus 12 jam, 18 jam, dan 24 jam ke depan. Pada Gambar 3.46 dapat dilihat distribusi persebaran data kecepatan arus cluster/kategori *Smooth* menggunakan metode *fuzzy cluster mean*. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

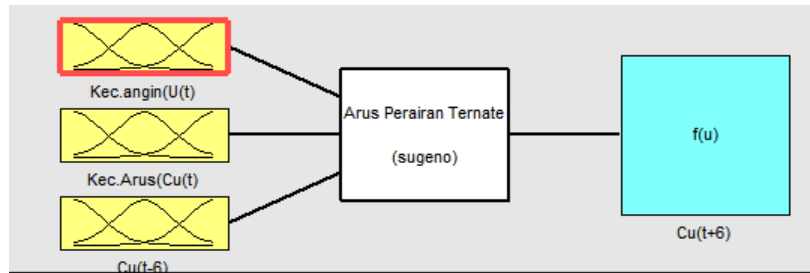


Gambar 3.46 FCM kecepatan Arus Model C

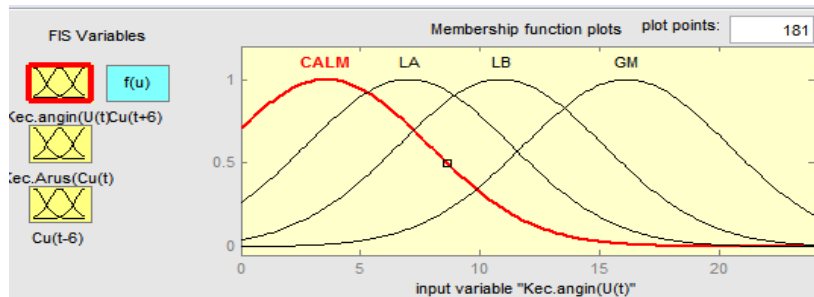
❖ Fuzzifikasi (Menentukan fungsi keanggotaan)

Proses *fuzzifikasi* untuk kecepatan arus Model C dapat ditunjukkan pada Gambar 3.47-3.51. Pada FIS editor tersebut terdiri dari 3 variabel masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$), 1 keluaran dan 16 *rules* dengan metode

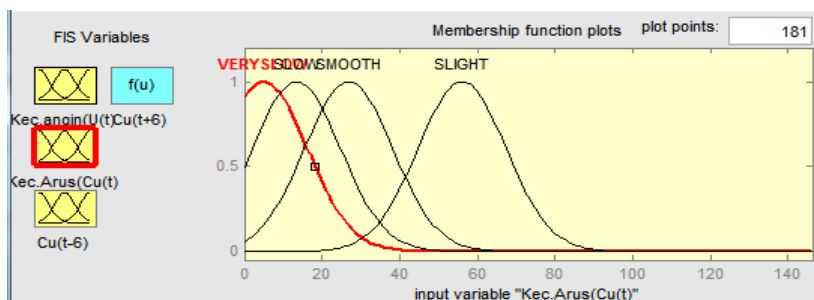
defuzzification dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya (*weight average/wtaver*).



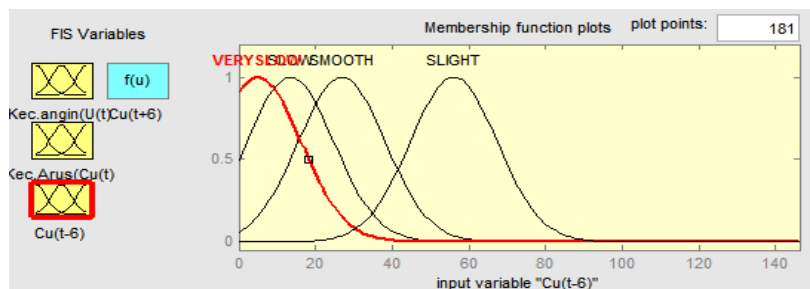
Gambar 3.47 Perancangan FIS Kecepatan Arus Model C



Gambar 3.48 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin Aktual ($U(t)$) Model C



Gambar 3.49 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus aktual ($Cu(t)$) Model C



Gambar 3.50 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) Model C

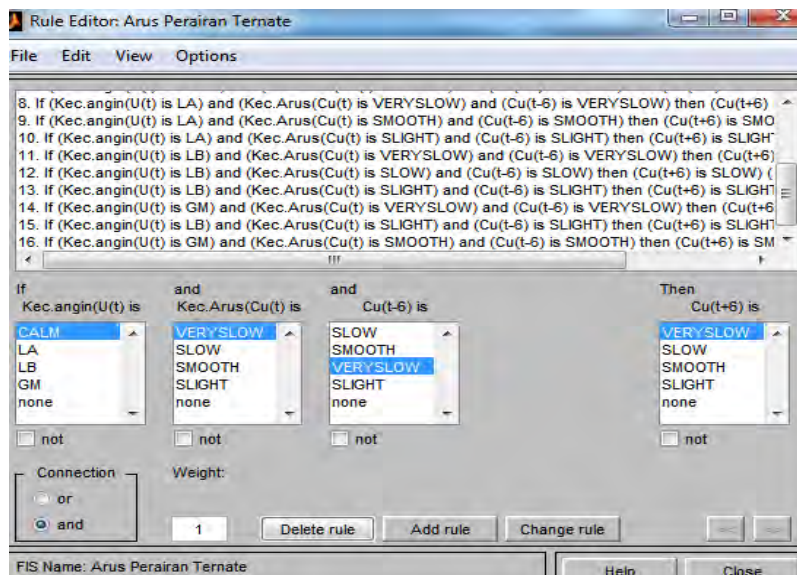


Gambar 3.51 Tampilan FIS Untuk Keluaran Prediksi Kecepatan Arus ($Cu(t+6)$) Model C

Gambar 3.48 adalah fungsi keanggotaan kecepatan angin aktual ($U(t)$) yang terdiri dari 4 kategori yaitu *Calm*, *LightAir*, *LightBreeze* dan *GentleBreeze*. Gambar 3.49 dan 3.50 adalah fungsi keanggotaan kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$) yang terdiri dari 5 kategori yaitu *VerySlow*, *Slow*, *Smooth* dan *Slight*. Sedangkan Gambar 3.51 adalah tampilan FIS untuk keluaran prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) Model C dengan 4 fungsi keanggotaan yang sama seperti Gambar 3.49. Gambar-gambar FIS editor ini berlaku juga untuk prediksi kecepatan arus 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

❖ Rule Base (Basis Pengetahuan)

Pada perancangan model ini, Tampilan *rule base* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.52. Tampilan *rule editor* untuk keluaran kecepatan arus model ini menggunakan 16 *rule*, didalam *rule base* tersebut terdapat 4 kategori/fungsi keanggotaan pada masing-masing masukan dan keluaran yang menggunakan aturan *If-Then* dan logika *And* karena semua variabel saling bergantung dan mempengaruhi.



Gambar 3.52 Tampilan Rule Editor Keluaran Prediksi Kecepatan Arus Model C

Algoritma *rule base* kecepatan arus adalah

1. *If (Kec.Angin (U(t) is Calm) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) then (Cu(t+6) is VerySlow*
2. *If (Kec.Angin (U(t) is LightAir) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) and then (Cu(t+6) is Slow*
3. *If (Kec.Angin (U(t) is LightBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (H(t+1) is Smooth*
4. *If (Kec.Angin (U(t) is GentleBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) then (Cu(t+6) is Slight*
5. *If (Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) then (Cu(t+6) is Slow*
- Dst*
16. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (Cu(t+6) is Smooth*

Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C. Pada model perancangan prediksi kecepatan arus dan ketinggian gelombang kita dapat merubah *rule base* dan konstanta dari keluaran untuk mendapatkan nilai prediksi yang akurat.

❖ **Penalaran (*Inference Machine*) dan Defuzzyfikasi**

Pada tahapan ini, *rule base* yang sudah ditentukan pada setiap perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus Model A, Model B dan Model C akan didapatkan bentuk *surface viewer* yang merupakan bentuk 3 dimensi kurva yang terdiri dari masukan pada sumbu x dan keluaran pada sumbu y. Tampilan *surface viewer* ketinggian gelombang dan kecepatan arus setiap model pada FIS editor dapat dilihat pada Lampiran D. Semakin halus bentuk *surface viewer* maka semakin bagus pula hasil keluaran yang didapatkan. Dari ketiga model tersebut, Prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus Model C yang memiliki tampilan *surface viewer* yang halus karena pada proses validasi sebagian besar data memiliki fungsi keanggotaan yang sama. Penentuan aturan (*rule base*) pada rule editor mengakibatkan munculnya tampilan *rule viewer* pada *fuzzy toolbox* yang merupakan tahapan terakhir dalam pemodelan logika fuzzy atau *defuzzifikasi*. *Rule viewer* menunjukkan gambaran proses fuzzy pada FIS editor. Garis merah pada gambar menunjukkan letak data yang dimaksudkan, 3 kolom pertama adalah masukan logika fuzzy dan kolom terakhir merupakan keluaran logika fuzzy. Tampilan *rule viewer* dapat dilihat pada Lampiran D.

3.5 Validasi Logika Fuzzy

Setelah pemodelan menggunakan logika fuzzy didapatkan langkah selanjutnya adalah validasi atau pengujian. Validasi logika *fuzzy* digunakan untuk mengetahui apakah hasil prediksi dengan logika *fuzzy* untuk memprediksi kecepatan arus dan ketinggian gelombang bernilai tepat atau tidak tepat (*error*) sesuai dengan variabel linguistik data aktual. Data validasi yang digunakan pada perancangan prediktor Model A, Model B dan Model C menggunakan data bulan Januari - Juni 2015 sebanyak 724 data. Berikut ini merupakan *syntax* pada matlab:

```
a=readfis('GelombangPerairanTernate');  
evalfis([  
],a);  
data=[  ];
```

Penjelasan fungsi sebagai berikut:

Readfis : membaca file *Fuzzy Interference System*

Evalfis : mengevaluasi FIS sehingga menghasilkan keluaran berdasarkan nilai inputan yang berbentuk matrik

Data : data aktual (saat ini)

Selengkapnya untuk *syntax* validasi logika *fuzzy* dapat dilihat di Lampiran A.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang hasil prediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus dengan menggunakan logika *fuzzy*. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang dimiliki oleh BMKG Maritim Bitung yang diukur setiap hari per 6 jam selama 5 tahun yang dimulai dari bulan Juli 2010 - Juni 2015. Data tersebut dibagi menjadi dua yaitu data yang digunakan dalam proses pemodelan prediksi cuaca dan data validasi untuk mengetahui *error* dari hasil prediksi. Prediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan di Perairan Ternate menggunakan 3 model perancangan prediktor untuk mendapatkan hasil validasi/akurasi yang tinggi (>85%). Perancangan prediktor tersebut terdiri dari Model A, Model B dan Model C.

4.1 Pengolahan Data Variabel Cuaca menggunakan *Fuzzy Cluster Mean (FCM)*

Pada penelitian ini digunakan pendekatan fungsi kurva *Gauss* karena data cuaca bersifat kontinu. Kurva *Gauss* menggunakan dua parameter yaitu (γ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva/*center* dan (k) yang menunjukkan lebar kurva/standar deviasi. *Fuzzy Interference System (FIS) editor* tipe Sugeno digunakan dalam pembentukan fungsi keanggotaan. Parameter nilai *center* (titik tengah) dan standar deviasi kelompok data didapatkan dari FCM dan kemudian digunakan sebagai parameter FIS untuk memprediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan. Adapun hasil pengelompokkan variabel prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus untuk tiap-tiap model yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.1 Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang Dan Kecepatan Arus Laut Model A

No	Variabel	Standar Deviasi	Fungsi Keaggotaan	Titik Tengah
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	Kecepatan Angin (knot)	4,30	CA (Calm)	2,447
		4,30	LA (Light air)	4,626
		4,30	LB (Light breeze)	6,644
		4,30	GB(Gentle breeze)	8,740
		4,30	MB(Moderate breeze)	11,267
		4,30	FB (Fresh breeze)	14,565
		4,30	SB(Strong breeze)	17,941
2	Ketinggian Gelombang saat ini (H(t))(m)	0,56	CG (Glassy)	0,627
		0,56	CR (Rippled)	0,894
		0,56	SW (Wavelets)	1,176
		0,56	SL (Slight)	1,485
		0,56	MO (Moderate)	1,818
		0,56	RO (Rough)	2,279
		0,56	VRO(Very ough)	3,019
3	Ketinggian Gelombang sebelumnya(H(t- 6))(m)	0,56	CG (Glassy)	0,627
		0,56	CR (Rippled)	0,894
		0,56	SW (Wavelets)	1,176
		0,56	SL (Slight)	1,485
		0,56	MO (Moderate)	1,818
		0,56	RO (Rough)	2,279
		0,56	VRO(Very ough)	3,019
4	Kecepatan arus Cu(t) (cm/s)	11,37	Cu1 (Very Slow)	3,355
		11,37	Cu2 (Slow)	7,762
		11,37	Cu3 (Smooth)	12,854
		11,37	Cu4 (Slight)	19,347
		11,37	Cu5 (Average)	27,697
		11,37	Cu6 (Fast)	40,552
		11,37	Cu7 (Very Fast)	59,674
5	Kecepatan arus Cu(t-6) (cm/s)	11,37	Cu1 (Very Slow)	3,355
		11,37	Cu2 (Slow)	7,762
		11,37	Cu3 (Smooth)	12,854
		11,37	Cu4 (Slight)	19,347
		11,37	Cu5 (Average)	27,697
		11,37	Cu6 (Fast)	40,552
		11,37	Cu7 (Very Fast)	59,674

Tabel 4.2 Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang Dan Kecepatan Arus Laut Model B

No	Variabel	Standar Deviasi	Fungsi Keaggotaan	Titik Tengah
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	Kecepatan	4,30	CA (Calm)	2,7434
	Angin (knot)	4,30	LA (Light Air)	5,266
	saat ini (U(t))(m)	4,30	LB (Light Breeze)	8,2036
		4,30	GB(Gentle Breeze)	11,573
		4,30	MB(ModerateBreeze	16,4051
2	Ketinggian	0,56	Glassy	0,7860
	Gelombang	0,56	Rippled	1,1649
	saat ini (H(t))(m)	0,56	Wavelet	1,6072
		0,56	Slight	2,0533
		0,56	Moderate	2,6530
3	Ketinggian	0,56	Glassy	0,7860
	Gelombang	0,56	Rippled	1,1649
	sebelumnya(H(t- 6))(m)	0,56	Wavelet	1,6072
		0,56	Slight	2,0533
		0,56	Moderate	2,6530
4	Kecepatan	11,37	Very Slow	4,2657
	arus Cu(t) (cm/s)	11,37	Slow	11,0601
		11,37	Smooth	20,1024
		11,37	Slight	33,622
		11,37	Average	58,579
5	Kecepatan	11,37	Very Slow	4,2657
	arus Cu(t-6) (cm/s)	11,37	Slow	11,0601
		11,37	Smooth	20,1024
		11,37	Slight	33,622
		11,37	Average	58,579
6	Kecepatan	4,30	CA (Calm)	2,7434
	Angin (knot)	4,30	LA (Light Air)	5,266
	sebelumnya(U(t-6))	4,30	LB (Light Breeze)	8,2036
		4,30	GB(Gentle Breeze)	11,573
		4,30	MB(ModerateBreeze	16,4051

Tabel 4.3 Hasil Clustering Prediktor Ketinggian Gelombang Dan Kecepatan Arus Laut Model C

No	Variabel	Standar Deviasi	Fungsi Keaggotaan	Titik Tengah
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	Kecepatan	4,30	CA (Calm)	3,5736
	Angin (knot)	4,30	LA (Light air)	7,0061
	saat ini (U(t))(m)	4,30	LB (Light breeze)	10,8835
		4,30	GB(Gentlebreeze)	16,1253
2	Ketinggian	0,56	CG (Glassy)	0,8270
	Gelombang	0,56	CR (Rippled)	1,3058
	saat ini (H(t))(m)	0,56	SW (Wavelets)	1,8031
		0,56	SL (Slight)	2,4468
3	Ketinggian	0,56	CG (Glassy)	0,8270
	Gelombang sebelumnya(H(t- 6))(m)	0,56	CR (Rippled)	1,3058
		0,56	SW (Wavelets)	1,8031
		0,56	SL (Slight)	2,4468
4	Kecepatan	11,37	Very Slow	4,8879
	arus Cu(t) (cm/s)	11,37	Slow	13,4250
		11,37	Smooth	26,8698
		11,37	Slight	56,0755
5	Kecepatan	11,37	Very Slow	4,8878
	arus Cu(t-6) (cm/s)	11,37	Slow	13,4270
		11,37	Smooth	26,8702
		11,37	Slight	56,0756

Pada Tabel 4.1 fungsi keanggotaan pada logika fuzzy untuk prediksi ketinggian gelombang dan kecepatan arus berjumlah masing-masing 7 fungsi keanggotaan, hal ini dikarenakan untuk ketinggian gelombang dan kecepatan angin menggunakan skala Beaufort sesuai dengan nilai minimum dan maksimum yang didapatkan pada data pelatihan. Parameter cuaca yang digunakan sebagai masukan untuk 1 ke luaran adalah kecepatan angin aktual (U(t)), ketinggian gelombang aktual (H(t)) dan ketinggian gelombang sebelumnya (H(t-6)) untuk prediktor ketinggian gelombang sedangkan prediktor kecepatan arus menggunakan masukan berupa kecepatan angin aktual (U(t)), kecepatan arus aktual (Cu(t)) dan kecepatan arus sebelumnya (Cu(t-6)).

Pada Tabel 4.2 menggunakan 5 fungsi keanggotaan untuk 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual (U(t)), kecepatan angin 6 jam

sebelumnya ($U(t-6)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) untuk prediktor ketinggian gelombang. Sedangkan masukan pada prediktor kecepatan arus terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($Cu(t-6)$). Pada Tabel 4.3 menggunakan 4 fungsi keanggotaan dan jumlah variabel masukan sama dengan pada Tabel 4.1. Nilai konstanta keluaran untuk masing-masing prediktor dapat ditunjukkan pada Tabel 4.4, 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.4 Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model A

No	Variabel	Fungsi Keanggotaan	Konstanta
[1]	[2]	[3]	[4]
1	Ketinggian Gelombang(m) Prediksi	CG (Glassy)	0,55
		CR (Rippled)	0,85
		SW (Wavelets)	1,25
		SL (Slight)	1,45
		MO (Moderate)	1,85
		RO (Rough)	2,45
		VRO (Very Rough)	3,5
2	Kecepatan arus Cu(t) (cm/s) Prediksi	Very Slow	3,5
		Slow	7,5
		Smooth	13,5
		Slight	19,5
		Average	29,5
		Fast	40,5
		Very Fast	144,5

Tabel 4.5 Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model B

No	Variabel	Fungsi Keanggotaan	Konstanta
[1]	[2]	[3]	[4]
1	Ketinggian Gelombang H(t)(m) Prediksi	Glassy	0,35
		Rippled	1,35
		Wavelet	1,64
		Slight	2,15
		Moderate	3,54
2	Kecepatan arus Cu(t) (cm/s) Prediksi	Very Slow	0,08
		Slow	13,5
		Smooth	20,5
		Slight	36,6
		Average	80,5

Tabel 4.6 Konstanta Keluaran Prediktor Cuaca Maritim Model C

No	Variabel	Fungsi Keanggotaan	Konstanta
[1]	[2]	[3]	[4]
1	Ketinggian	Glassy	0,44
	Gelombang H(t)(m)	Rippled	1,25
	Prediksi	Wavelet	1,84
		Slight	3,26
2	Kecepatan	Very Slow	0,08
	arus Cu(t) (cm/s)	Slow	15,5
	Prediksi	Smooth	30,5
		Slight	65,0

Nilai konstanta dari keluaran yang terdapat pada Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 akan mempengaruhi prediksi pada logika *fuzzy*. Hasil prediksi negatif tidak diperbolehkan pada prediksi. Keluaran dari fungsi FCM adalah titik pusat *cluster* (*center*) dan beberapa fungsi keanggotaan untuk tiap data.

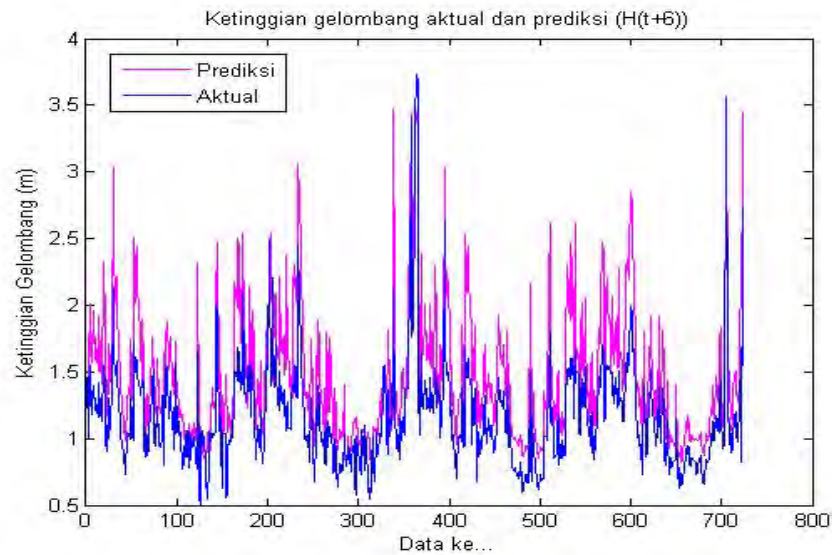
1.2 Analisis Hasil Prediktor Ketinggian Gelombang Laut

Data yang digunakan untuk validasi ketinggian gelombang Model A, Model B dan Model C adalah data bulan Januari – Juni 2015 sebanyak 724 data. Data yang didapatkan dari BMKG Maritim Bitung kemudian dibandingkan dengan data hasil pemodelan logika fuzzy dengan cara merubah data yang berupa numerik menjadi linguistik yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan skala Beaufort yang berlaku sehingga didapatkan prosentase ketepatan model. Pemodelan logika fuzzy akan digunakan untuk memprediksi ketinggian gelombang 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan.

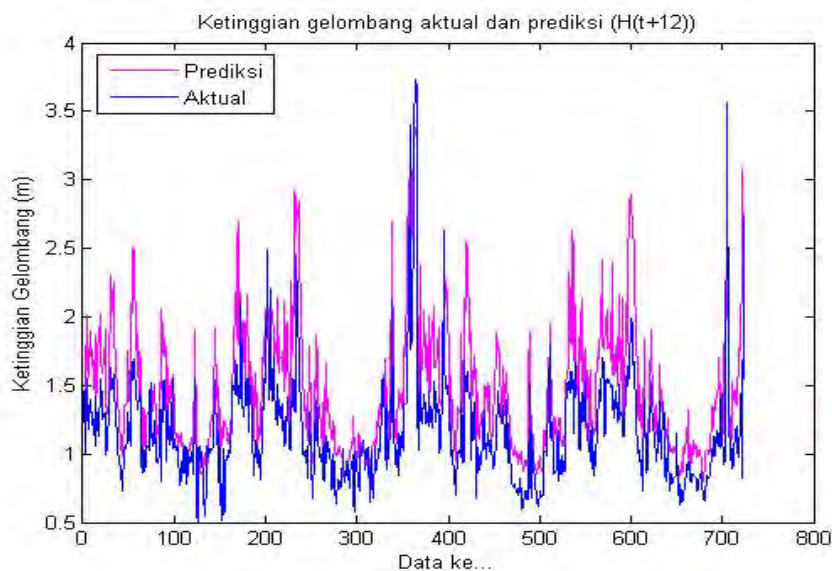
1.2.1 Hasil Prediktor Ketinggian Gelombang Model A

Prediktor ketinggian gelombang model A menggunakan 3 variabel masukan yaitu kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) untuk prediksi ketinggian gelombang 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan dengan 7 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 7 kategori yaitu *Glassy*, *Rippled*, *Wavelet*, *Slight*, *Moderate*, *Rough* dan *VeryRough*. Gambar 4.1- 4.4 menunjukkan hasil grafik

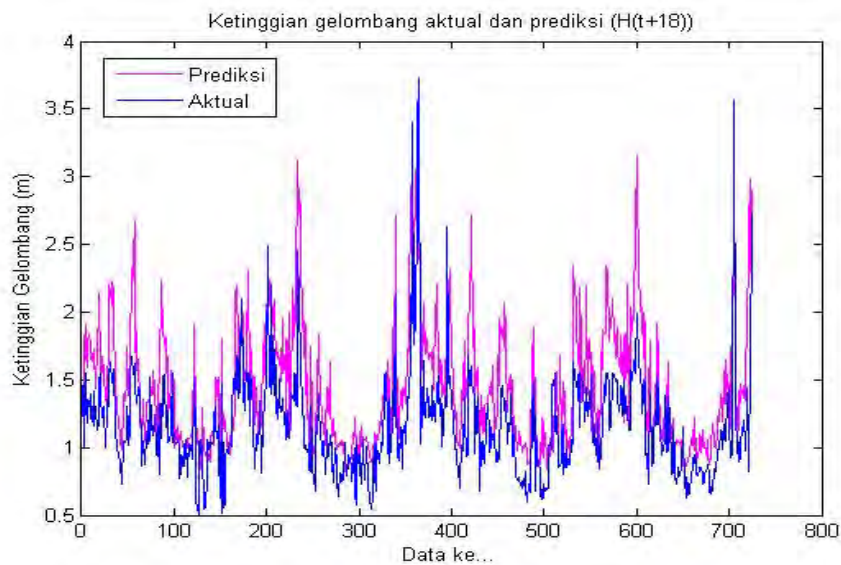
perbandingan antara hasil aktual BMKG (grafik berwarna biru) dengan hasil prediksi menggunakan logika *fuzzy* (grafik berwarna merah), dimana sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan ketinggian gelombang (m).



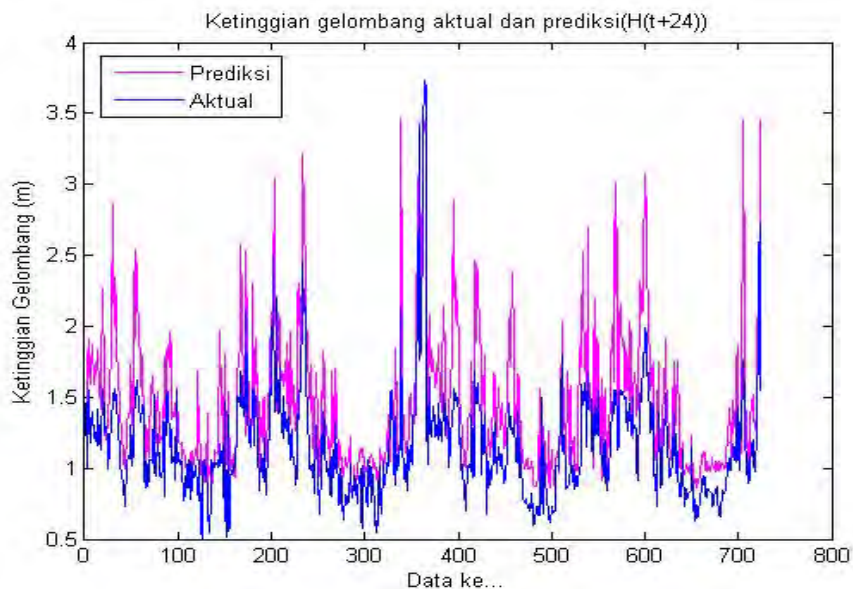
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model A



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 12 jam ke depan ($H(t+12)$) Model A



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 18 jam ke depan ($H(t+18)$) Model A



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 24 Jam ke depan ($H(t+24)$) Model A

Grafik prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model A yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 tidak berimpit atau belum dapat mengikuti pola grafik ketinggian gelombang aktual BMKG. Hal ini terjadi karena 7 fungsi keanggotaan yang digunakan berdasarkan skala Beaufort, ternyata data-data ketinggian gelombang yang memiliki fungsi keanggotaan yang sama hanya

terdapat pada 2 kategori yaitu **Wavelet** (1,04 m – 1,33 m) dan **Slight** (1,34 m – 1,65 m). Pola grafik ini hampir sama dengan pola grafik pada Gambar 4.2-4.4. Pemodelan dari logika *fuzzy* dengan metode Sugeno yang terlihat pada grafik menghasilkan keluaran numerik atau angka. Hasil keluaran yang berupa numerik ini diubah ke dalam bentuk linguistik sehingga dapat lebih mudah dimengerti sesuai dengan fungsi keanggotaan dari ketinggian gelombang seperti “**Glassy**, **Rippled** dan **Smoot**”.

Tabel 4.7 merupakan tabel hasil validasi berdasarkan kesamaan fungsi keanggotaan. Tabel tersebut berisi tentang keterangan hasil pemodelan menggunakan logika fuzzy yang dibandingkan dengan data aktual yang didapatkan dari BMKG, misalnya apabila data sebenarnya adalah “**Glassy**” maka hasil pemodelan juga harus “**Glassy**” sehingga dapat dihitung dan bernilai 1, sehingga didapatkan nilai prosentase rata-rata keakuratan ketinggian gelombang adalah 22,37 %. Hasil prediksi ini berlaku untuk radius 50 km di sekitar Perairan Ternate.

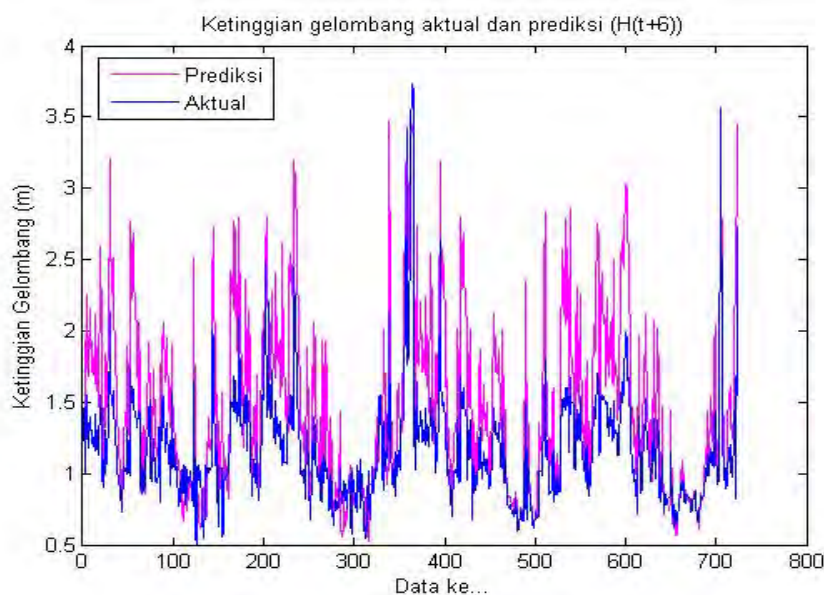
Tabel 4.7 Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model A

No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data	Prosentase Keakuratan
			Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	
1	6 Jam kedepan	724	137	18,92%
2	12 Jam kedepan	724	168	23,20%
3	18Jam kedepan	724	173	23,89%
4	24 Jam kedepan	724	170	23,48%
Prosentase Rata-rata				22,37%

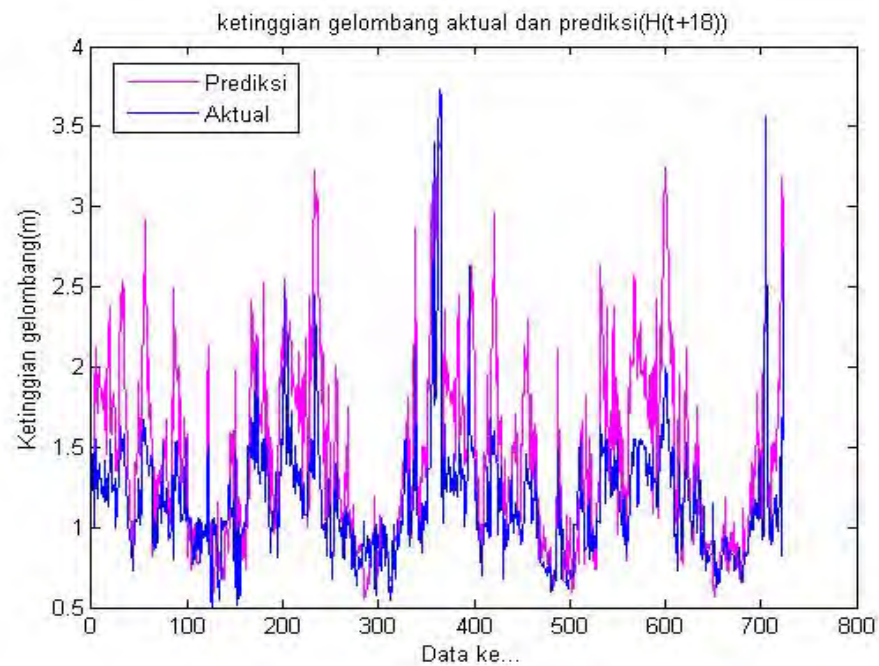
Nilai error rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika *fuzzy* dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan ketinggian gelombang sebenarnya, dimana untuk prediksi 6 jam ke depan didapatkan nilai error rata-rata 0,39 dan standar deviasi 0,22; prediksi 12 jam ke depan nilai error 0,31 dan standar deviasi 0,23; prediksi 18 jam ke depan nilai error 0,29 dan standar deviasi 0,27; dan prediksi 24 jam ke depan nilai error 0,31 dan standar deviasi 0,26.

1.2.2 Hasil Prediktor Ketinggian Gelombang Model B

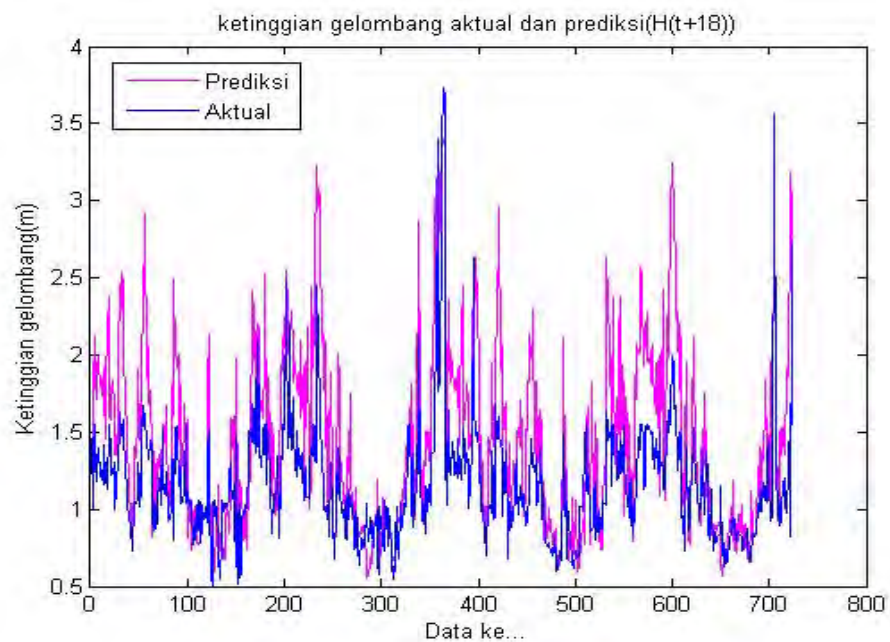
Prediktor ketinggian gelombang Model B menggunakan 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) dengan 5 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 5 kategori yaitu “*Glassy, Rippled, Wavelet, Slight dan Moderate*”. Grafik perbandingan antara hasil aktual BMKG (grafik berwarna biru) dengan hasil prediksi (grafik berwarna merah) untuk keluaran prediksi ketinggian gelombang 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5-4.8. Dimana sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan ketinggian gelombang (m). Pada keempat grafik tersebut terlihat bahwa pola grafik data hasil prediksi sudah dapat mengikuti pola grafik data aktual BMKG tetapi hanya sebagian kecil, hal ini terjadi karena data-data yang tergolong dalam 5 fungsi keanggotaan tersebut semuanya terwakili, hanya saja yang lebih dominan memiliki fungsi keanggotaan yang sama yaitu kategori *Rippled* (0,96 m – 1,35 m) dan *Wavelet* (1,36 m – 1,78 m). Besarnya prosentase kecocokan atau keakuratan model dapat dilihat pada Tabel 4.8.



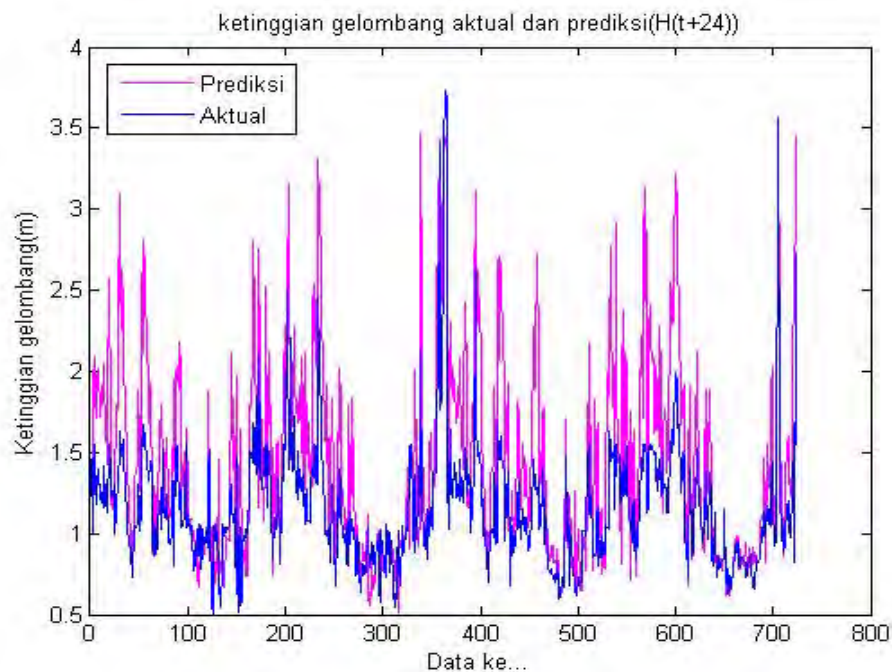
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 6 jam ke depan ($H(t+6)$) Model B



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 12 jam ke depan ($H(t+12)$) Model B



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 18 jam ke depan ($H(t+18)$) Model B



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 24 jam ke depan ($H(t+24)$) Model B

Tabel 4.8 Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model B

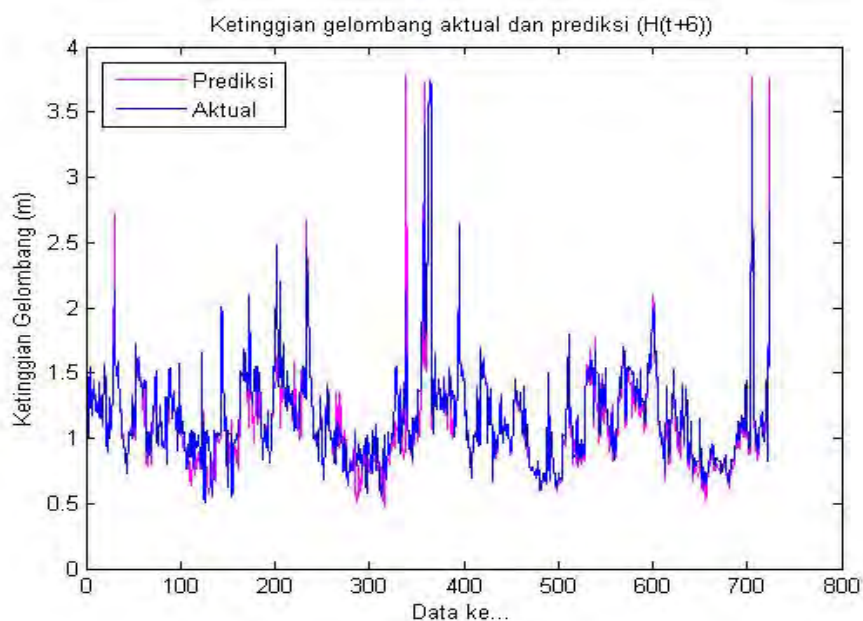
No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	Prosentase Keakuratan
1	6 Jam kedepan	724	433	59,81%
2	12 Jam kedepan	724	400	55,25%
3	18Jam kedepan	724	396	54,69%
4	24 Jam kedepan	724	415	57,32%
Prosentase Rata-rata				56,74%

Pada Tabel 4.8 didapatkan nilai prosentase rata-rata keakuratan ketinggian gelombang Model B adalah 59,81 %. Nilai error rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika fuzzy dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan ketinggian gelombang sebenarnya, dimana untuk prediksi 6 jam ke depan didapatkan nilai error rata-rata -0,099 dan standar deviasi 0,35; prediksi 12 jam ke depan nilai error -0,115 dan standar deviasi 0,360; prediksi 18 jam ke depan nilai

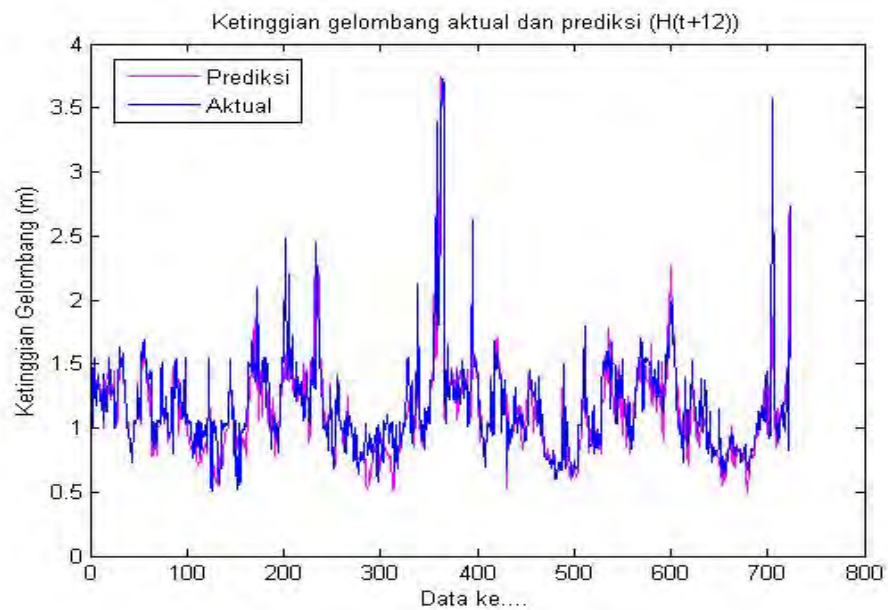
error -0,128 dan standar deviasi 0,356; dan prediksi 24 jam ke depan nilai error -0,113 dan standar deviasi 0,349.

1.2.3 Hasil Prediktor Ketinggian Gelombang Model C

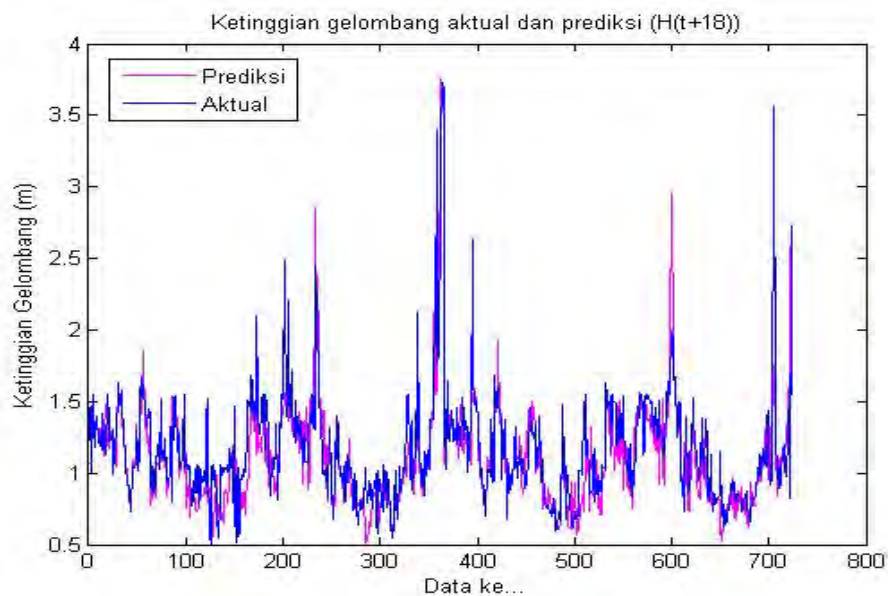
Prediktor ketinggian gelombang Model C menggunakan 3 variabel masukan yaitu kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$) dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$) untuk prediksi ketinggian gelombang 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan dengan 4 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 4 kategori yaitu “*glassy, rippled, wavelet dan slight*”. Pada Gambar 4.9-4.12 menunjukkan hasil grafik perbandingan antara hasil prediksi (grafik berwarna merah) dengan hasil aktual BMKG (grafik berwarna biru), dimana sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan ketinggian gelombang (m). Pada keempat grafik tersebut terlihat bahwa pola grafik hasil prediksi sebagian besar mengikuti pola grafik aktual BMKG atau sebagian besar pola grafik saling berimpitan, hal ini terjadi karena memiliki sebagian besar kecocokan data yang terdapat dalam 4 fungsi keanggotaan tersebut dan lebih dominan sama yaitu kategori **Glassy** (0,33 m – 1,06 m), **Rippled** (1,07 m – 1,55 m) dan **Wavelet** (1,56 m – 2.12 m). Besarnya prosentase kecocokan atau keakuratan model dapat dilihat pada Tabel 4.9.



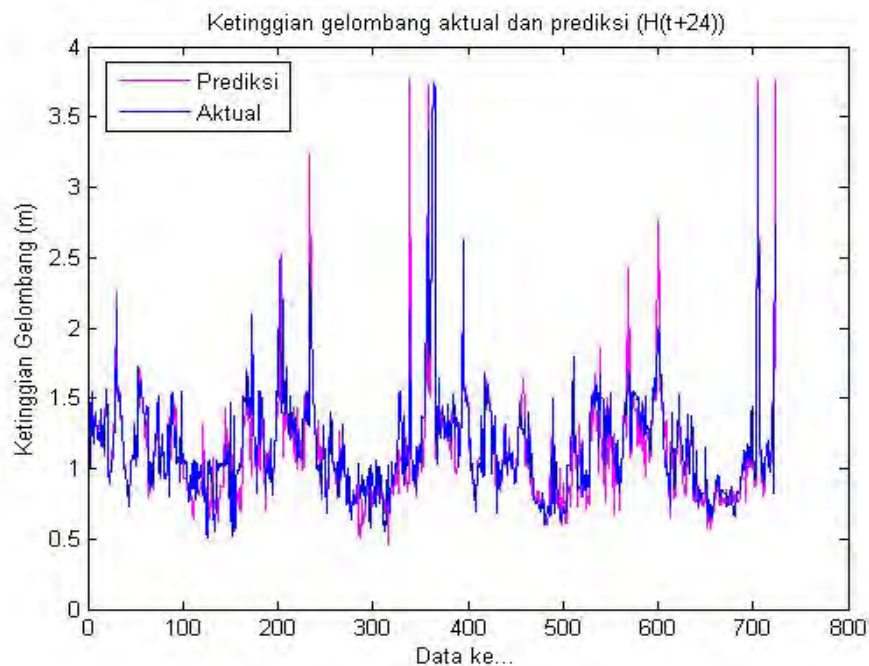
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 6 Jam Ke Depan ($H(t+6)$) Model C



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 12 Jam Ke Depan ($H(t+12)$) Model C



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 18 Jam Ke Depan ($H(t+18)$) Model C



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Ketinggian Gelombang 24 Jam Ke Depan ($H(t+24)$) Model C

Tabel 4.9 Validasi Prediktor Ketinggian Gelombang Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model C

No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	Prosentase Keakuratan
1	6 Jam kedepan	724	666	91,99%
2	12 Jam kedepan	724	626	86,46%
3	18Jam kedepan	724	617	85,22%
4	24 Jam kedepan	724	625	86,34%
Prosentase Rata-rata				87,50%

Pada Tabel 4.9 didapatkan nilai prosentase rata-rata keakuratan ketinggian gelombang Model B adalah 87,50 %. Nilai error rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika fuzzy dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan ketinggian gelombang sebenarnya, dimana untuk prediksi 6 jam ke depan diperoleh nilai error rata-rata -0,03 dan standar deviasi 0,16; prediksi 12 jam ke depan nilai error rata-rata -0,04 dan standar deviasi 0,19; prediksi 18 jam ke depan

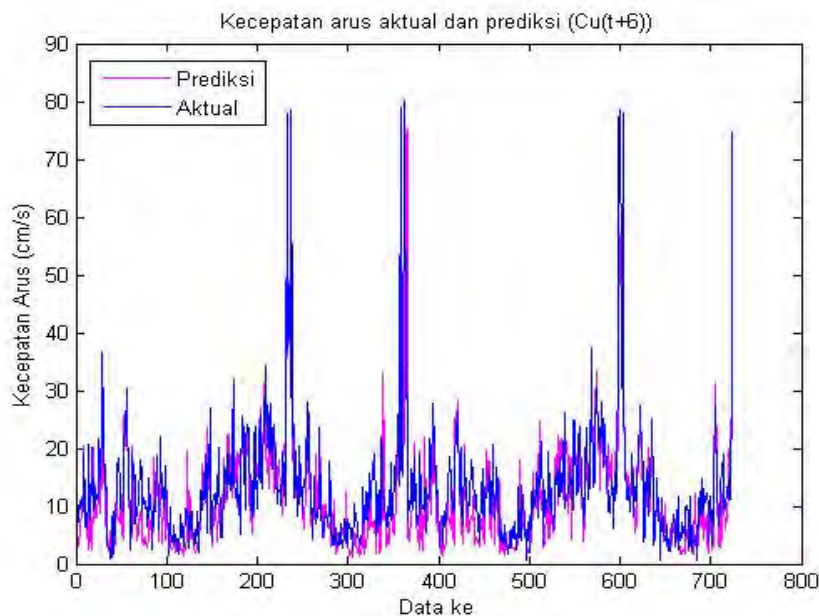
nilai error rata-rata -0,04 dan standar deviasi 0,21 dan prediksi 24 jam ke depan nilai error rata-rata -0,03 dan standar deviasi 0,19.

1.3 Analisis Hasil Prediktor Kecepatan Arus Laut

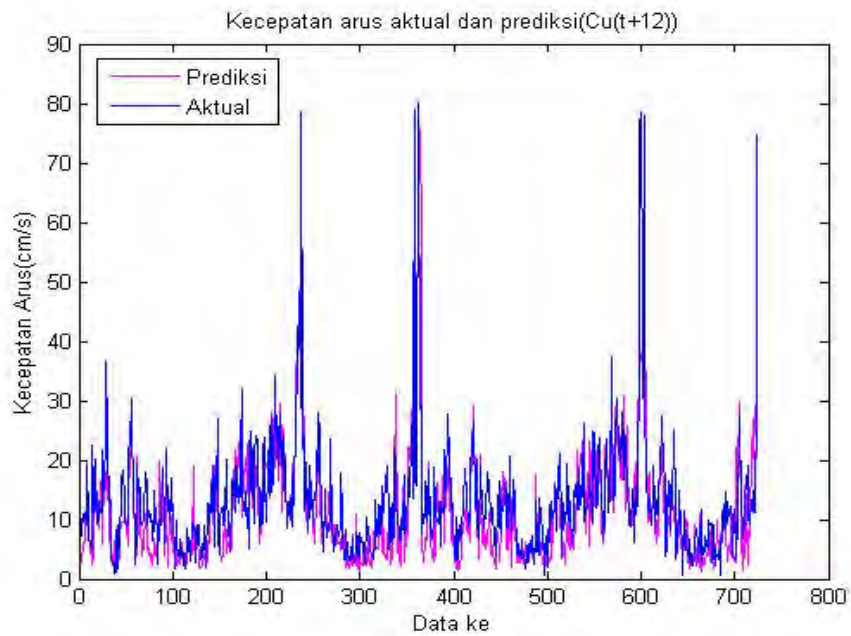
Pada prediktor kecepatan arus Model A, Model B dan Model C jumlah data validasi yang digunakan untuk memprediksi kecepatan arus 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan sama dengan jumlah data validasi yang digunakan oleh prediktor ketinggian gelombang Model A, Model B dan Model C.

1.3.1 Hasil Prediktor Kecepatan Arus Model A

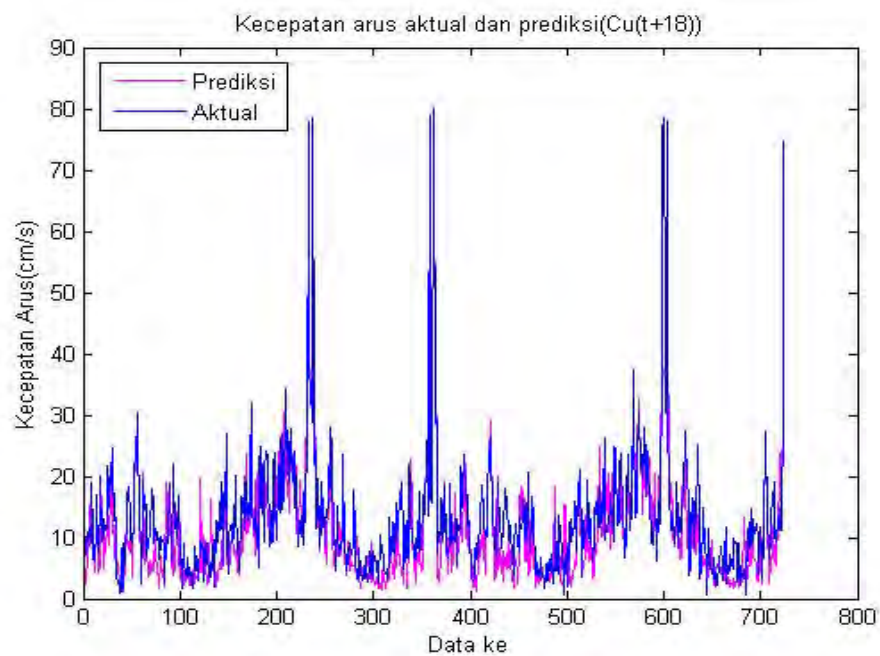
Prediktor kecepatan arus Model A menggunakan 3 variabel masukan berupa kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($C_u(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($C_u(t-6)$) dengan 7 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 7 kategori yaitu “*VerySlow, Slow, Smooth, Slight, Average, Fast dan VeryFast*”. Pada Gambar 4.13-4.16 merupakan grafik perbandingan hasil prediksi dan aktual BMKG kecepatan arus prediksi 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan, dimana sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan kecepatan arus (cm/s).



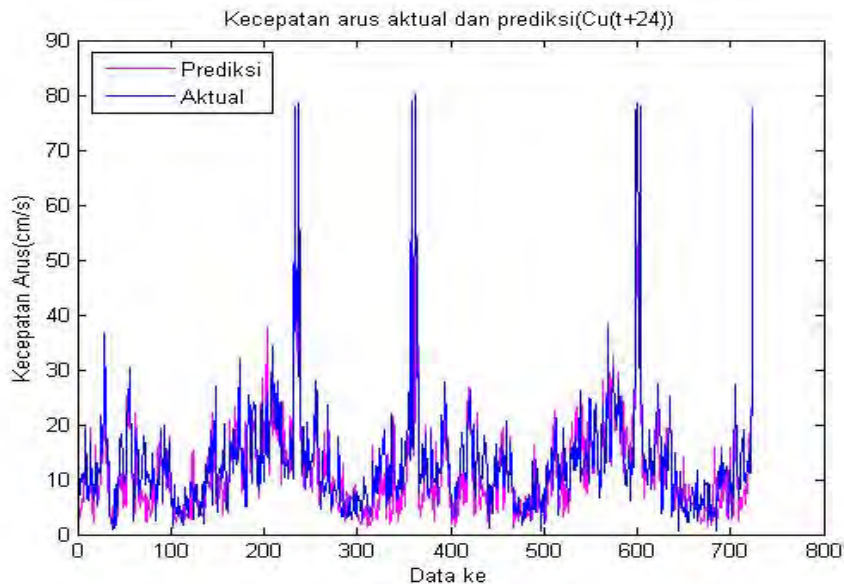
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 6 jam ke depan ($C_u(t+6)$) Model A



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 12 jam ke depan ($Cu(t+12)$) Model A



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 18 jam ke depan ($Cu(t+18)$) Model A



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 24 jam ke depan ($Cu(t+24)$) Model A

Pada Gambar 4.13, pola grafik hasil prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) (grafik warna merah) sebagian kecil mengikuti pola grafik aktual BMKG (grafik warna biru), ini berarti bahwa sebagian besar tidak terdapat kecocokan data-data dalam fungsi keanggotaan, hal ini terjadi karena 7 fungsi keanggotaan yang digunakan ternyata hanya 2 kategori yang dominan sama yaitu sebagian besar *VerySlow* (0,08 cm/s – 5,55 cm/s) dan sebagian kecil *Slow* (5,56 cm/s – 10,27 cm/s). Pola grafik ini hampir sama dengan pola grafik pada Gambar 4.14-4.16. Besarnya prosentase kecocokan atau keakuratan model dapat ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Validasi Prediktor Kecepatan Arus Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model A

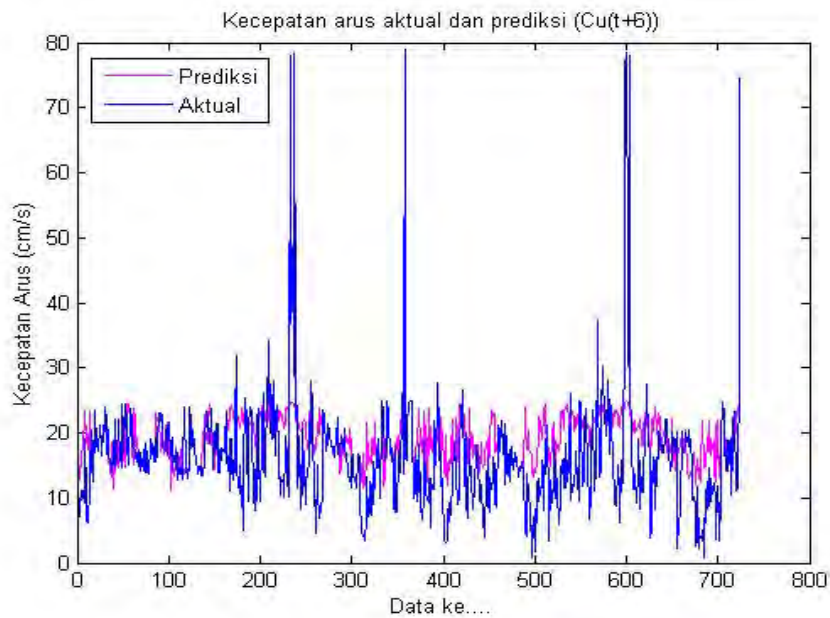
No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data	Prosentase Keakuratan
			Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	
1	6 Jam kedepan	724	315	43,51%
2	12 Jam kedepan	724	286	39,50%
3	18Jam kedepan	724	282	38,95%
4	24 Jam kedepan	724	325	44,89%
Prosentase Rata-rata				41,71%

Tabel 4.10 adalah tabel yang berisi tentang keterangan hasil pemodelan menggunakan logika fuzzy yang dibandingkan dengan data yang didapatkan dari BMKG, misalnya apabila data sebenarnya adalah “*VerySlow*” maka hasil pemodelan juga harus “*VerySlow*” sehingga dapat dihitung dan bernilai 1. Sehingga didapatkan nilai prosentase rata-rata keakuratan kecepatan arus adalah 41,71 %. Hasil prediksi ini berlaku untuk radius 50 km disekitar Perairan ternate.

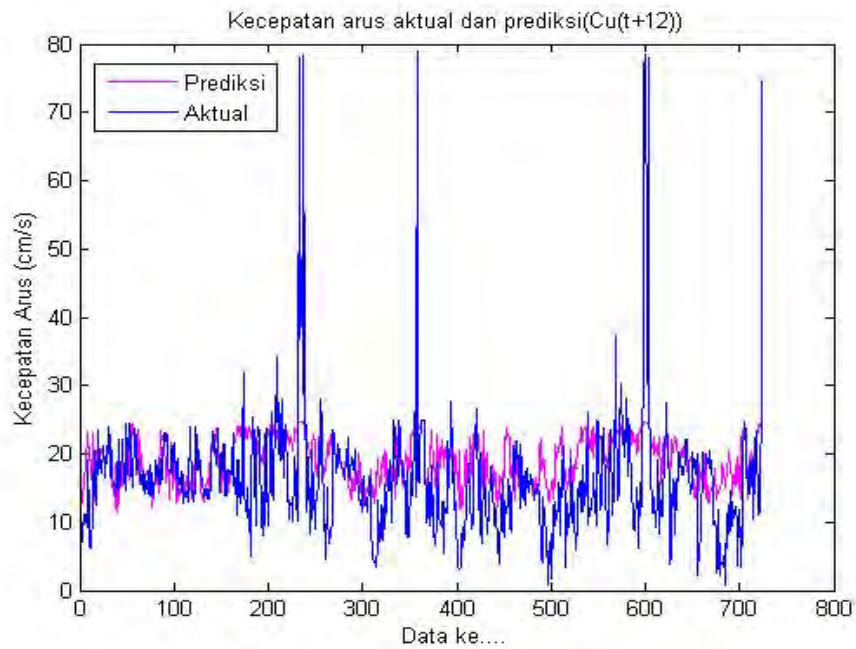
Nilai error rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika fuzzy dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan kecepatan arus sebenarnya. Dimana untuk prediksi 6 jam ke depan didapatkan nilai error rata-rata -1,70 dan standar deviasi 6,29; prediksi 12 jam ke depan nilai error rata-rata -1,84 dan standar deviasi 6,71; prediksi 18 jam ke depan nilai error rata-rata -2,01 dan standar deviasi 6,04; dan prediksi 24 jam ke depan nilai error rata-rata -1,49 dan standar deviasi 5,53.

1.3.2 Hasil Prediktor Kecepatan Arus Model B

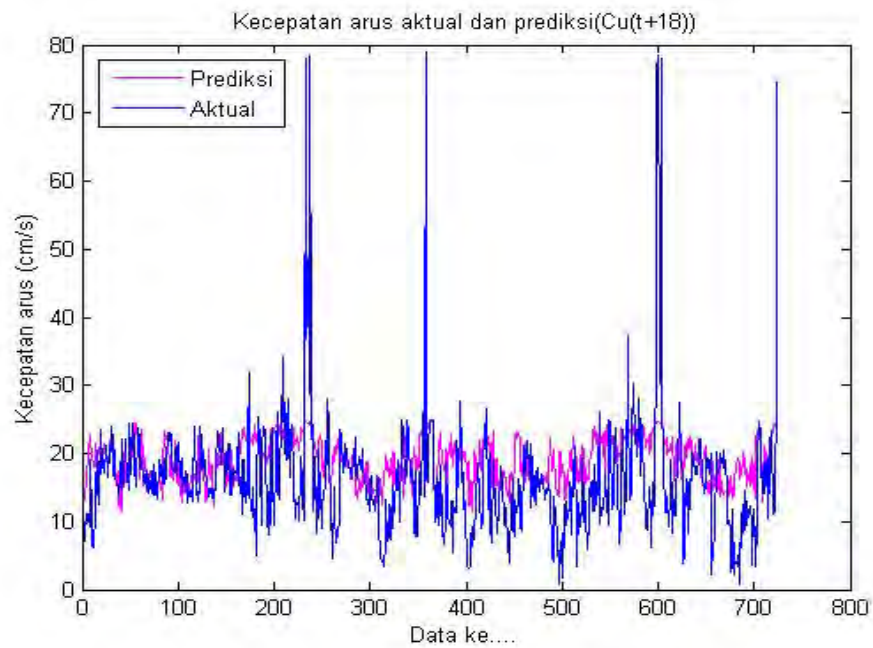
Prediktor kecepatan arus Model B menggunakan 4 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan angin 6 jam sebelumnya ($U(t-6)$), kecepatan arus aktual ($Cu(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($t-6$) dengan 5 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 5 kategori yaitu “*VerySlow, Slow, Smooth, Slight dan Average*”. Pada Gambar 4.17-4.20 merupakan grafik perbandingan hasil prediksi kecepatan 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan, sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan kecepatan arus (cm/s). Pada Gambar 4.17, pola grafik hasil prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) (grafik warna merah) sebagian kecil mengikuti pola grafik aktual BMKG (grafik warna biru), ini berarti bahwa sebagian besar tidak terdapat kecocokan data-data dalam fungsi keanggotaan, hal ini terjadi karena 7 fungsi keanggotaan yang digunakan ternyata hanya 2 kategori yang dominan sama yaitu sebagian besar *VerySlow* (0,08 cm/s – 5,55 cm/s) dan sebagian kecil *Slow* (5,56 cm/s – 10,27 cm/s). Pola grafik ini hampir sama dengan pola grafik pada Gambar 4.18-4.20. Besarnya prosentase kecocokan atau keakuratan model dapat ditunjukkan pada Tabel 4.11.



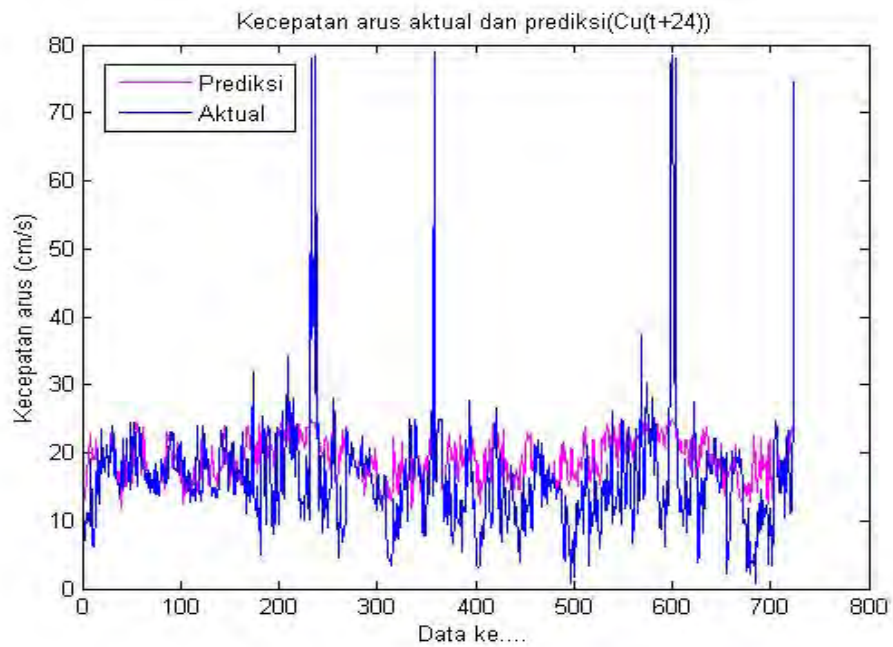
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) Model B



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 12 jam ke depan ($Cu(t+12)$) Model B



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 18 jam ke depan ($Cu(t+18)$) Model B



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 24 jam ke depan ($Cu(t+24)$) Model B

Tabel 4.11 Validasi Prediktor Kecepatan Arus Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model B

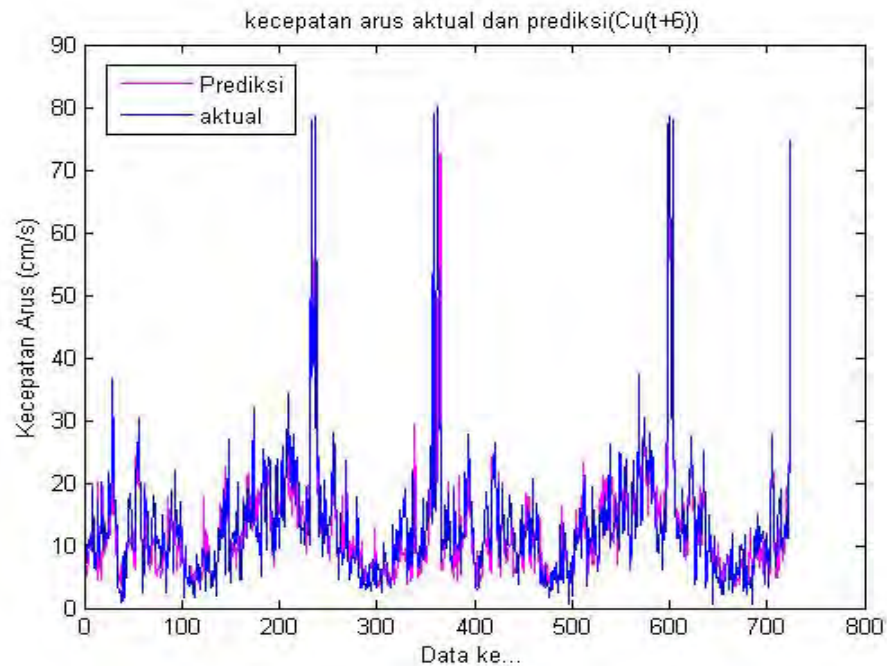
No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	Prosentase Keakuratan
1	6 Jam kedepan	724	391	54,01%
2	12 Jam kedepan	724	358	49,45%
3	18Jam kedepan	724	343	47,38%
4	24 Jam kedepan	724	368	50,83%
Prosentase Rata-rata				50,42%

Pada Tabel 4.11 nilai prosentase rata-rata keakuratan kecepatan arus adalah 50,42 %. Nilai error rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika fuzzy dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan kecepatan arus sebenarnya. Dimana untuk prediksi 6 jam ke depan didapatkan nilai error rata-rata 3,01 dan standar deviasi 7,83; prediksi 12 jam ke depan nilai error 2,92 dan standar deviasi 7,96; prediksi 18 jam ke depan nilai error 2,99 dan standar deviasi 8,02 dan prediksi 24 jam ke depan nilai error 3,11 dan standar deviasi 7,84.

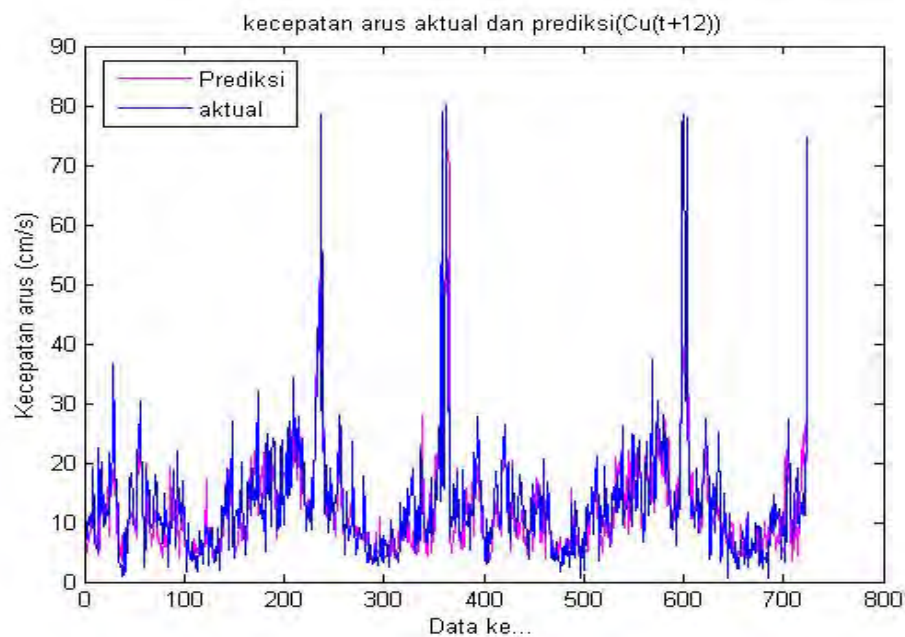
1.3.3 Hasil Prediktor Kecepatan Arus Model C

Prediktor kecepatan arus Model C menggunakan 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($C_u(t)$) dan kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($t-6$) dengan 4 fungsi keanggotaan yang terdiri dari 4 kategori yaitu “*veryslow*, *slow*, *smooth* dan *slight*”. Pada Gambar 4.21-4.24 merupakan grafik hasil prediksi kecepatan 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam ke depan dengan grafik data aktual BMKG, dimana sumbu x menunjukkan banyaknya data dan sumbu y menunjukkan kecepatan arus (cm/s). Pada Gambar 4.21, pola grafik hasil prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan ($C_u(t+6)$) (grafik warna merah) sebagian besar mengikuti pola grafik aktual BMKG (grafik warna biru), ini berarti bahwa sebagian besar memiliki kecocokan data-data dalam fungsi keanggotaan, hal ini terjadi karena semua data yang tergolong dalam 4 fungsi keanggotaan/kategori semuanya terwakili, untuk kategori *VerySlow* (0,08 cm/s – 9,15 cm/s), *Slow* (9,16 cm/s – 20,11 cm/s), *Smooth* (20,19 cm/s – 41,32 cm/s) dan *Slight* (41,62 cm/s – 146,26 cm/s). Pola grafik ini hampir sama dengan pola

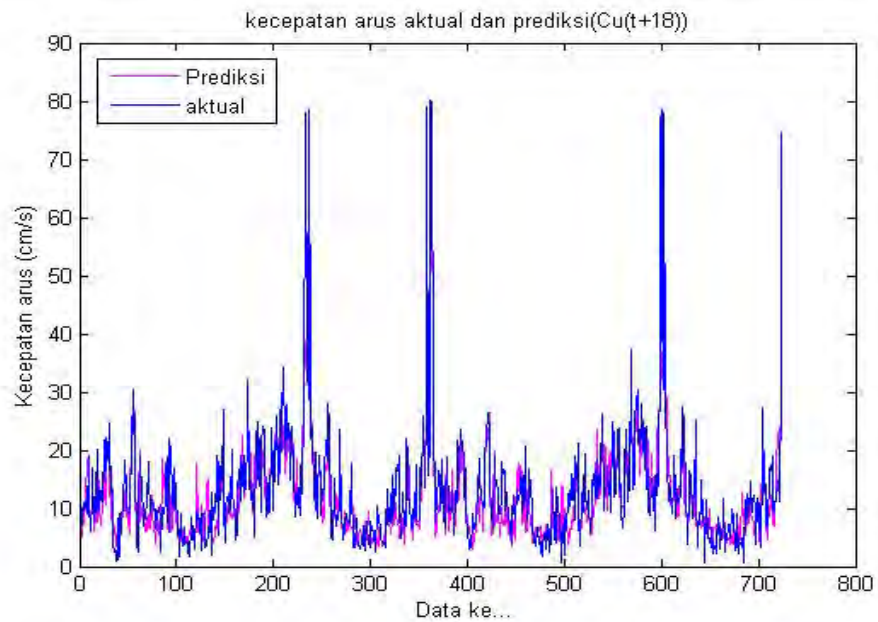
grafik pada Gambar 4.22-4.24. Besarnya prosentase kecocokan atau keakuratan model dapat dilihat pada Tabel 4.12.



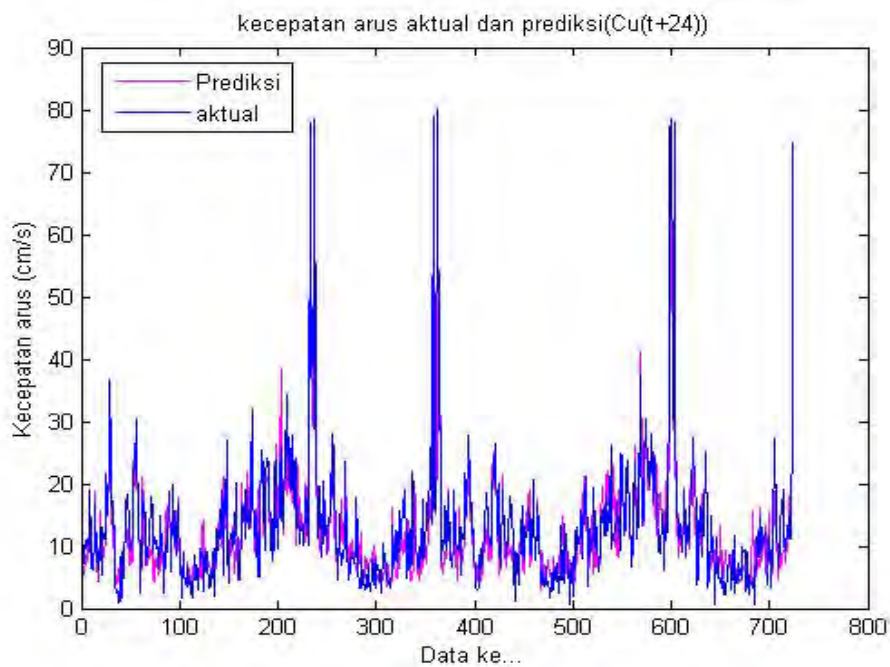
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 6 jam ke depan ($Cu(t+6)$) Model C



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 12 jam ke depan ($Cu(t+12)$) Model C



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 18 jam ke depan ($Cu(t+18)$) Model C



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dan Aktual Data Kecepatan Arus 24 jam ke depan ($Cu(t+24)$) Model C

Tabel 4.12 Validasi Prediktor Kecepatan arus Berdasarkan Kesamaan Fungsi Keanggotaan Model C

No	Waktu Prediksi	Jumlah Data Validasi	Jumlah Data Yang Memiliki Kesamaan Fungsi Keanggotaan	Prosentase Keakuratan
1	6 Jam kedepan	724	625	86,33%
2	12 Jam kedepan	724	622	85,91%
3	18Jam kedepan	724	618	85,34%
4	24 Jam kedepan	724	624	86,19%
Prosentase Rata-rata				85,94%

Pada Tabel 4.12 nilai prosentase rata-rata keakuratan kecepatan arus adalah 85,94%. Hasil prediksi ini berlaku untuk radius 50 km disekitar Perairan Ternate. Nilai *error* rata-rata untuk pemodelan menggunakan logika *fuzzy* dicari dengan cara mengurangi hasil pemodelan dengan kecepatan arus sebenarnya. Dimana untuk prediksi 6 jam ke depan didapatkan nilai *error* rata-rata 0,47 dan standar deviasi 5,36; prediksi 12 jam ke depan nilai *error* 0,14 dan standar deviasi 6,08; prediksi 18 jam ke depan nilai *error* -0,11 dan standar deviasi 4,78; dan prediksi 24 jam ke depan nilai *error* 0,26 dan standar deviasi 4,44.

1.4 Analisis Model Prediktor Ketinggian Gelombang Dan Kecepatan Arus Laut Terbaik Di Perairan Ternate

Perancangan prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus di Perairan Ternate Maluku Utara menggunakan 3 Model yaitu Model A, Model B dan Model C. Keakuratan prediksi suatu model prediktor dipengaruhi oleh variabel masukan (Papilinska, 2006; Zamani, 2008). Setiap model menggunakan jumlah masukan dan fungsi keanggotaan yang berbeda-beda. Fungsi keanggotaan *Gaussian* digunakan dalam proses *fuzzyfikasi* karena memiliki tingkat kehalusan dan nilainya tidak nol di semua titik sehingga dapat menghasilkan akurasi yang tinggi (Georgius, (2009); Javadi (2009). Prediktor Model A menggunakan 7 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan sehingga memiliki prosentase keakuratan dan nilai korelasi yang lebih kecil dari prediktor Model B yang menggunakan 5 fungsi keanggotaan untuk 4 variabel masukan. Hal ini membuktikan bahwa *record* data ketinggian gelombang sebelumnya

mempengaruhi ketinggian gelombang berikutnya. Dari ketiga model tersebut, Model C merupakan model prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan arus terbaik di Perairan Ternate karena memiliki korelasi yang tinggi ($R = 0,921$ untuk ketinggian gelombang; $R = 0,853$ untuk kecepatan arus) dan prosentase keakuratan terbesar terdapat pada prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan yaitu 91,99 % dan prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan yaitu 86,33 %. Perancangan prediktor ketinggian gelombang Model C menggunakan 4 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), ketinggian gelombang aktual ($H(t)$), dan ketinggian gelombang 6 jam sebelumnya ($H(t-6)$). Hal ini terjadi karena karakteristik data kecepatan angin dan ketinggian gelombang di Perairan Ternate hanya bisa menggunakan 4 fungsi keanggotaan yang sesuai dengan pembagian skala Beaufort, dimana untuk kategori *Glassy* dengan interval ketinggian gelombang 0,33 m - 1,06 m; kategori *Rippled* 1,07 m - 1,55 m; kategori *Wavelets* 1,56 m - 2,12 m dan kategori *Slight* 2,13 m - 3,57 m untuk prediktor ketinggian gelombang dan kecepatan angin menggunakan kategori *Calm* 0,18 knot - 5,28 knot; *LightAir* 5,29 knot – 8,94 knot; *LightBreeze* 8,95 knot – 13,5 knot dan *GentleBreeze* 13,51 knot – 24 knot, sehingga data yang digunakan untuk pemodelan fuzzy (prediksi) dan validasi sebagian besar memiliki kesamaan fungsi keanggotaan dan menghasilkan prosentase keakuratan yang besar pula.

Perancangan prediktor kecepatan arus Model C menggunakan 4 fungsi keanggotaan dengan 3 variabel masukan yang terdiri dari kecepatan angin aktual ($U(t)$), kecepatan arus aktual ($C_u(t)$), kecepatan arus 6 jam sebelumnya ($C_u(t-6)$). Hal ini terjadi karena karakteristik data kecepatan angin dan kecepatan arus di Perairan Ternate hanya bisa menggunakan 4 kategori yang sesuai dengan pembagian skala Beaufort yaitu *VerySlow* dengan interval 0,08 cm/s – 9,15 cm/s; *Slow* 9,16 cm/s – 20,11 cm/s; *Smooth* 20,19 cm/s – 41,32 cm/s dan *Slight* 41,62 cm/s – 146,3 cm/s untuk prediktor kecepatan arus dan kecepatan angin menggunakan kategori *Calm* 0,18 knot - 5,28 knot; *LightAir* 5,29 knot – 8,94 knot; *LightBreeze* 8,95 knot – 13,5 knot dan *GentleBreeze* 13,51 knot – 24 knot, sehingga data yang digunakan untuk pemodelan fuzzy (prediksi) dan validasi

sebagian besar memiliki kesamaan fungsi keanggotaan dan menghasilkan prosentase keakuratan yang besar pula.

Penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya seperti penelitian tentang prediksi cuaca maritim dengan menggunakan logika Fuzzy di Laut Jawa Jalur Pelayaran Surabaya-Banjarmasin oleh Aisjah dkk, hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi ketinggian gelombang 1 jam dan 24 jam ke depan memiliki prosentase akurasi berturut-turut 86,1% pada Perairan Surabaya dan 71,37% pada Perairan Banjarmasin sedangkan prediksi kecepatan arus memiliki prosentase akurasi sebesar 40,61% untuk 24 jam ke depan. Hasil analisa yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan logika fuzzy tipe Takagi-Sugeno sampai saat dilakukannya penelitian ini menghasilkan ketepatan prediksi yang lebih baik. Prosentase akurasi yang diperoleh dalam penelitian ini dengan penelitian di Laut Jawa atau lainnya berbeda karena pola ketinggian gelombang dan kecepatan arus di Laut Jawa dan Perairan Ternate berbeda. Pola ketinggian gelombang pada dasarnya sulit di prediksi dan sering berubah tak menentu sedangkan pola umum arus permukaan samudera dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik dan berbagai variabel seperti friksi, grafitasi, gerak rotasi bumi, letak geografis benua, topografi dasar laut dan angin lokal. Kombinasi dari berbagai interaksi faktor-faktor tersebut menyebabkan adanya arus laut yang mengalir sepanjang waktu dan saling terhubung dalam skala dunia.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari analisa dan pembahasan sebagai berikut:

1. Perancangan prediktor Model A menggunakan 7 fungsi keanggotaan untuk 3 variabel masukan dan memiliki prosentase akurasi terbesar pada prediksi ketinggian gelombang 18 jam ke depan yaitu 23,89 % dan kecepatan arus 24 jam ke depan yaitu 44,89 %.
2. Perancangan prediktor Model B menggunakan 5 fungsi keanggotaan untuk 4 variabel masukan dan memiliki prosentase akurasi terbesar pada prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan yaitu 59,81 % dan kecepatan arus 6 jam ke depan yaitu 54,01 %.
3. Perancangan prediktor Model C menggunakan 4 fungsi keanggotaan dengan 3 variabel masukan dan memiliki prosentase akurasi terbesar pada prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan yaitu 91,99 % dan kecepatan arus 6 jam ke depan yaitu 86,33 %.
4. Untuk memenuhi *performance* dengan akurasi $> 85\%$, prediktor Model C adalah model prediktor terbaik dan memiliki prosentase akurasi terbesar pada prediksi ketinggian gelombang 6 jam ke depan sebesar 91,99% dan 86,33% untuk prediksi kecepatan arus 6 jam ke depan.
5. Untuk memperoleh hasil akurasi yang tinggi, penentuan jumlah fungsi keanggotaan harus disesuaikan dengan karakteristik data penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Listing Program

A.1 Listing Program Fuzzy Cluster Mean (FCM) Kecepatan Angin, Kecepatan arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate

Listing Program FCM Kecepatan Angin

```
Wind = []; %masukkan data yang akan dicluster di
dalam tanda []
[center,U,obj_fcn]=fcm(Wind, 5);%syntax clustering
dengan 5 cluster
maxU = max(U);
index1 = find(U(1,:) == maxU);
index2 = find(U(2, :) == maxU);
index3 = find(U(3, :) == maxU);
index4 = find(U(4, :) == maxU);
index5 = find(U(5, :) == maxU);
figure %plotting untuk data clustering ke 1
plot(Wind(index1,1),'o','color','b');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan Angin (knot)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan Angin (knot)')
figure %plotting untuk data clustering ke 2
plot(Wind(index2,1),'x','color','r');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan Angin (knot)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan Angin (knot)')
figure %plotting untuk data clustering ke 3
plot(Wind(index3,1),'o','color','g');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan Angin (knot)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan Angin (knot)')
```

```

figure %plotting untuk data clustering ke 4
plot(Wind(index4,1),'x','color','c');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan Angin (knot)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan Angin (knot)')
figure %plotting untuk data clustering ke 5
plot(Wind(index5,1),'o','color','m');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan Angin (knot)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan Angin (knot)')
min(Wind(index1,1))%menentukan nilai minimum untuk
cluster 1
max(Wind(index1,1))%menentukan nilai maksimum untuk
cluster 1
min(Wind(index2,1))
max(Wind(index2,1))
min(Wind(index3,1))
max(Wind(index3,1))
min(Wind(index4,1))
max(Wind(index4,1))
min(Wind(index5,1))
max(Wind(index5,1))
center;

```

Listing Program FCM Ketinggian Gelombang

```

H=[]; %masukkan data yang akan dicluster di dalam
tanda []
[center,U,obj_fcn] = fcm(H, 4); %syntax clustering
dengan 4 cluster
maxU = max(U);
index1 = find(U(1,:) == maxU);
index2 = find(U(2, :) == maxU);

```

```

index3 = find(U(3, :) == maxU);
index4 = find(U(4, :) == maxU);
figure %plotting untuk data clustering ke 1
plot(H(index1,1),'o','color','b');
title('Fuzzy Clustering Ketinggian Gelombang (m)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Ketinggian Gelombang (m)')
figure %plotting untuk data clustering ke 2
plot(H(index2,1),'x','color','r');
title('Fuzzy Clustering Ketinggian Gelombang (m)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Ketinggian Gelombang (m)')
figure %plotting untuk data clustering ke 3
plot(H(index3,1),'o','color','g');
title('Fuzzy Clustering Ketinggian Gelombang (m)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Ketinggian Gelombang (m)')
figure %plotting untuk data clustering ke 4
plot(H(index3,1),'o','color','g');
title('Fuzzy Clustering Ketinggian Gelombang (m)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Ketinggian Gelombang (m)')
min(H(index1,1))%menentukan nilai minimum untuk
cluster 1
max(H(index1,1))%menentukan nilai maksimum untuk
cluster 1
min(H(index2,1))
max(H(index2,1))
min(H(index3,1))
max(H(index3,1))
min(H(index4,1))
max(H(index4,1))

```

```
center;
```

Listing Program FCM Kecepatan Arus

```
arus = []; %masukkan data yang akan dicluster di
dalam tanda []
[center,U,obj_fcn]=fcm(arus, 7);%syntax clustering
dengan 7 cluster
maxU = max(U);
index1 = find(U(1,:) == maxU);
index2 = find(U(2, :) == maxU);
index3 = find(U(3, :) == maxU);
index4 = find(U(4, :) == maxU);
index5 = find(U(5, :) == maxU);
index6 = find(U(6, :) == maxU);
index7 = find(U(7, :) == maxU);
figure %plotting untuk data clustering ke 1
plot(arus(index1,1),'o','color','b');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 2
plot(arus(index2,1),'x','color','r');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 3
plot(arus(index3,1),'o','color','g');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 4
plot(arus(index4,1),'x','color','c');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
```

```

xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 5
plot(arus(index5,1),'o','color','m');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 6
plot(arus(index6,1),'x','color','b');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
figure %plotting untuk data clustering ke 7
plot(arus(index7,1),'o','color','r');
title('Fuzzy Clustering Kecepatan arus (cm/s)')
xlabel('Banyak Data')
ylabel('Kecepatan arus (cm/s)')
min(arus(index1,1))%menentukan nilai minimum untuk
cluster 1
max(arus(index1,1))%menentukan nilai maksimum untuk
cluster 1
min(arus(index2,1))
max(arus(index2,1))
min(arus(index3,1))
max(arus(index3,1))
min(arus(index4,1))
max(arus(index4,1))
min(arus(index5,1))
max(arus(index5,1))
min(arus(index6,1))
max(arus(index6,1))
min(arus(index7,1))

```

```
max(arus(index7,1))
center;
```

A.2 Listing Program Validasi Ketinggian Gelombang Perairan Ternate

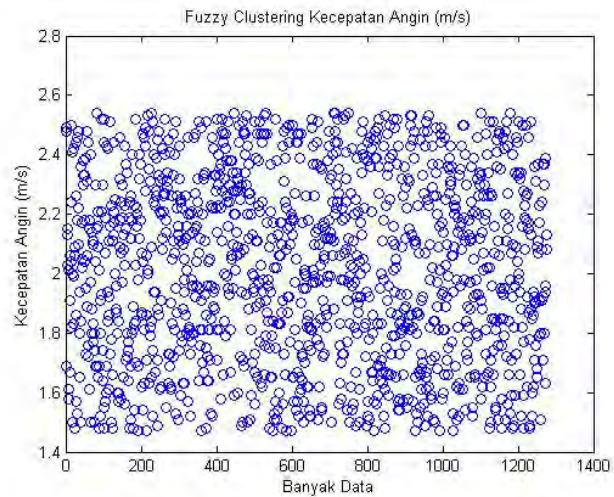
```
a=readfis('gelombang1');
evalfis([];
plot(ans,'color','m')
hold on
plot(data,'color','b')
title('Validasi data bulan Januari-juni 2015')
xlabel('Jumlah Data')
ylabel('Ketinggian Gelombang (m)')
hleg = legend('Prediksi','Validasi',...
              'Location','NorthEastOutside');
% Make the text of the legend italic and color it
brown
set(hleg,'FontAngle','bold','TextColor',[.3.2.1]);
```


LAMPIRAN B

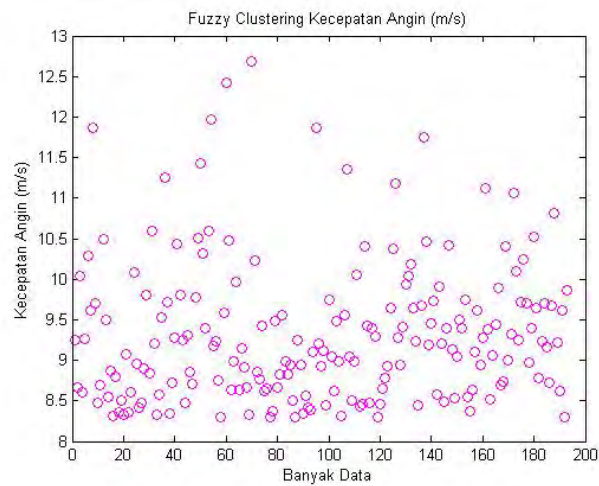
Fuzzy Cluster Mean (FCM)

B.1 FCM Kecepatan Angin, Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model A

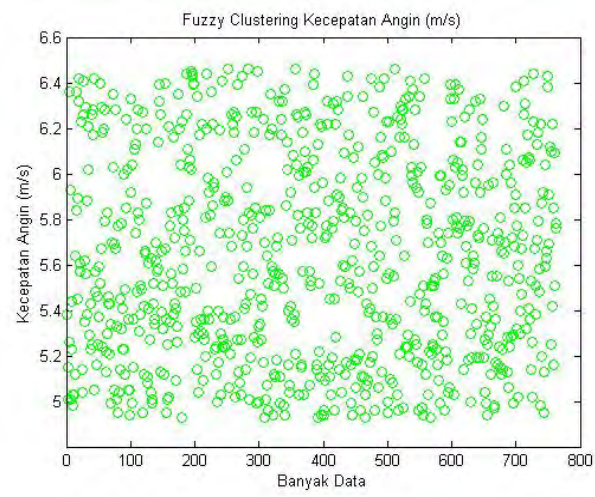
FCM Kecepatan Angin



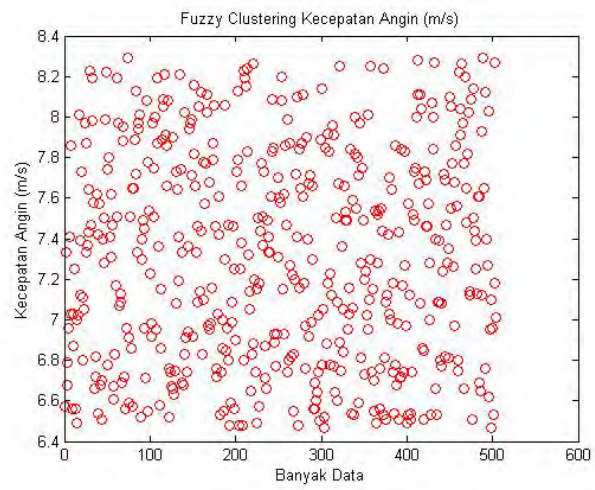
(a)



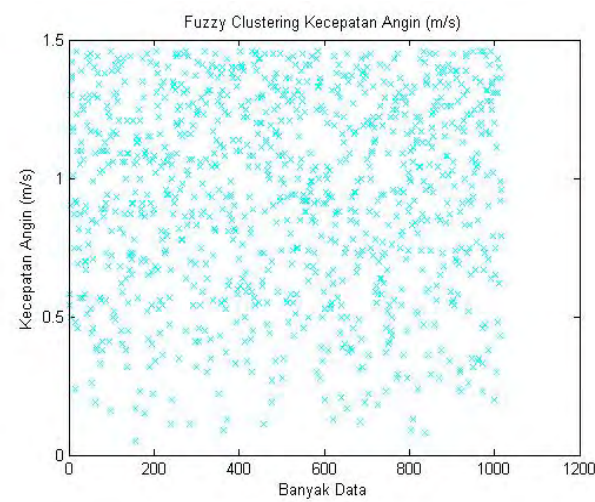
(b)



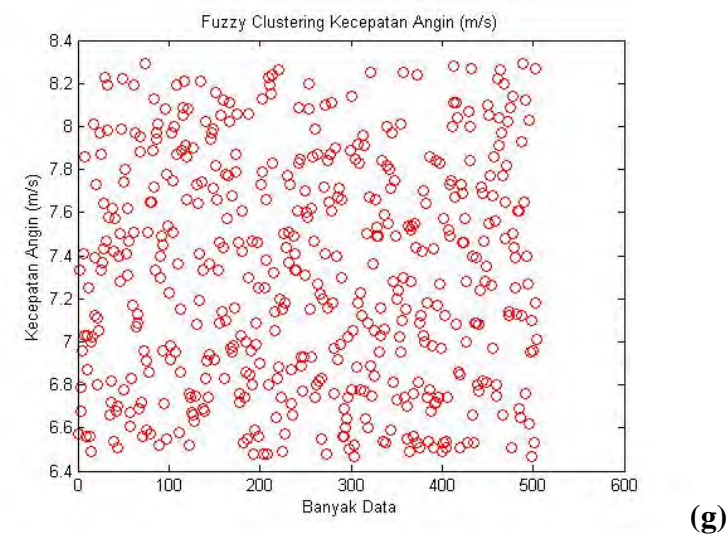
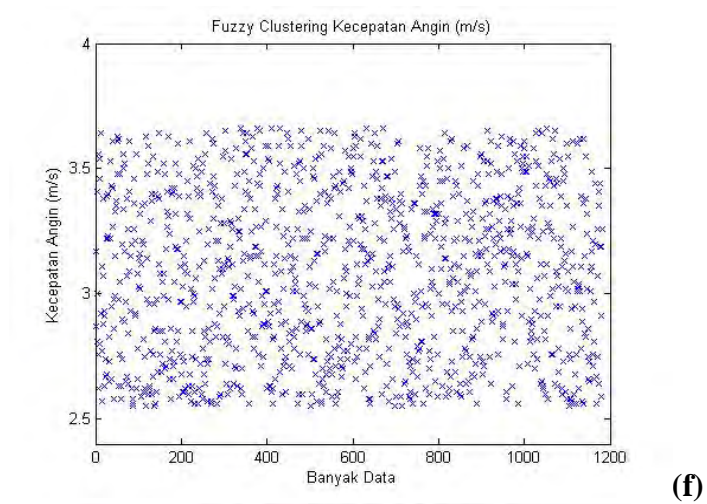
(c)



(d)

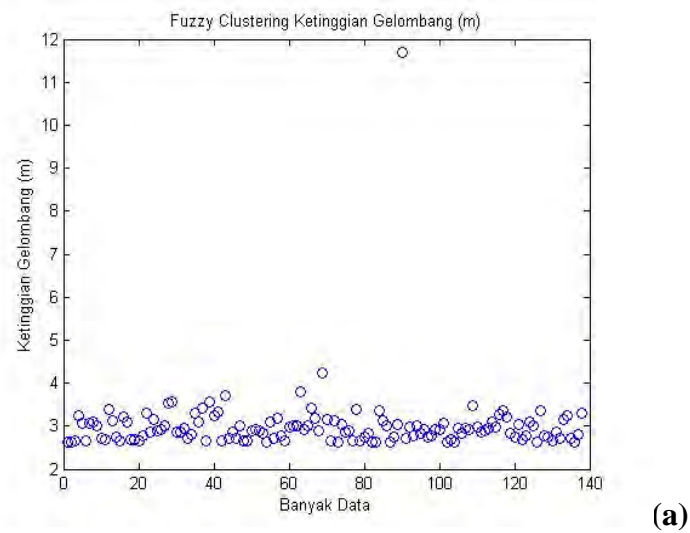


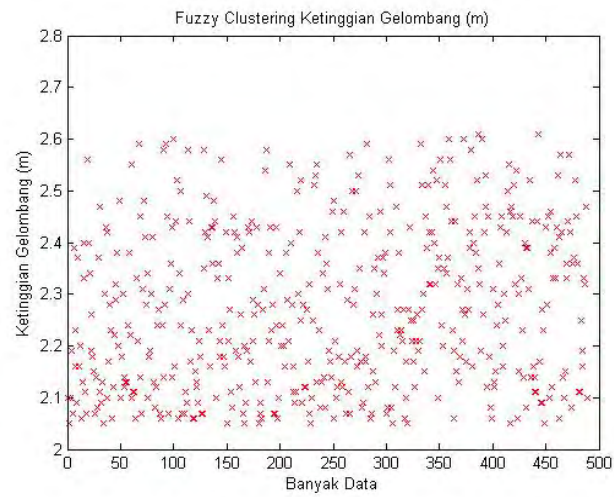
(e)



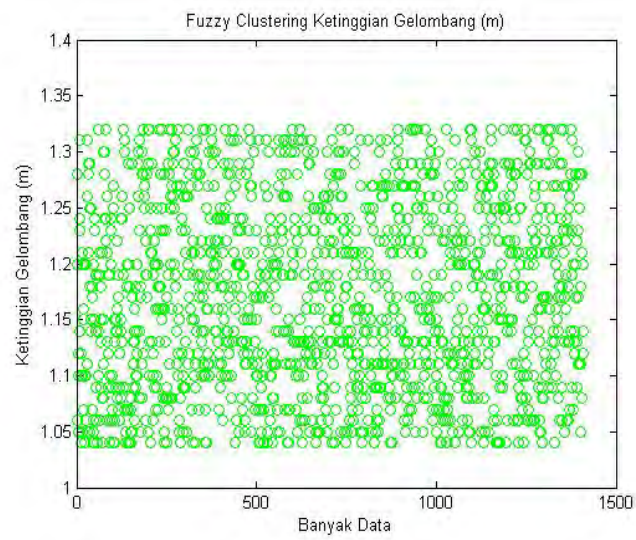
Gambar 1 FCM Kecepatan Angin (a)cluster CA(b) cluster LA(c) cluster LB (d) cluster GB (e) cluster MB (f) cluster MB (g) cluster SB

FCM Ketinggian Gelombang

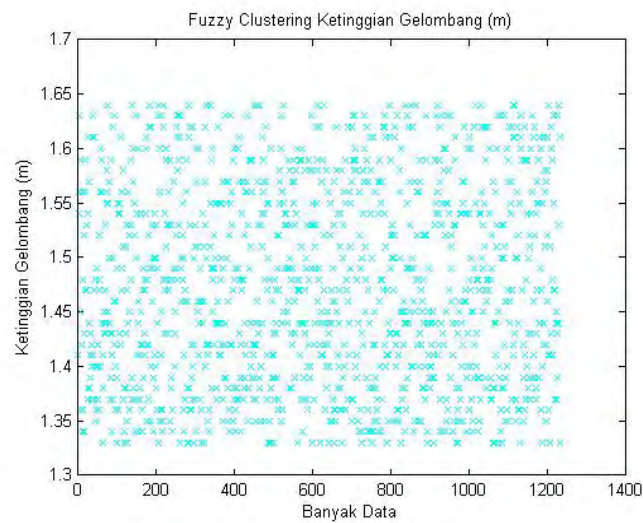




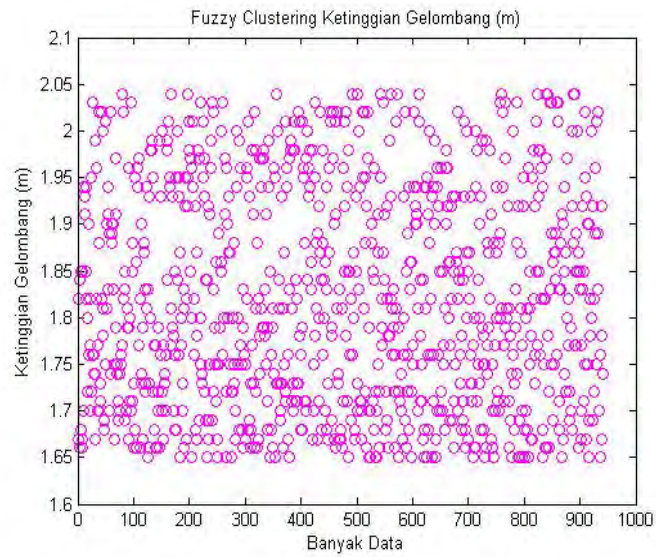
(b)



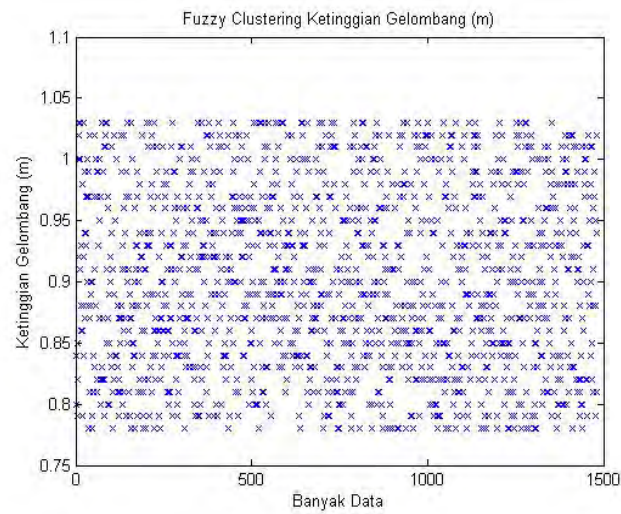
(c)



(d)



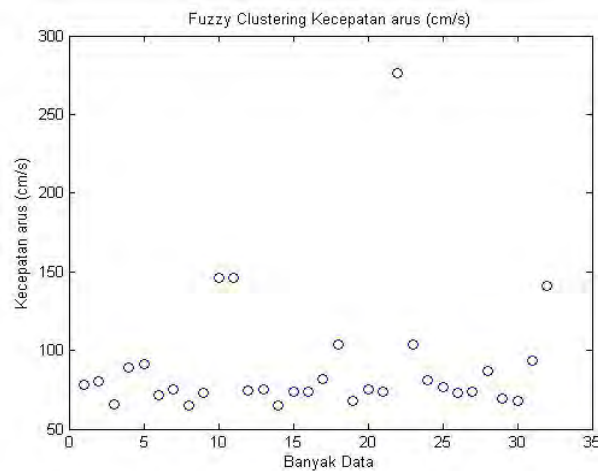
(e)



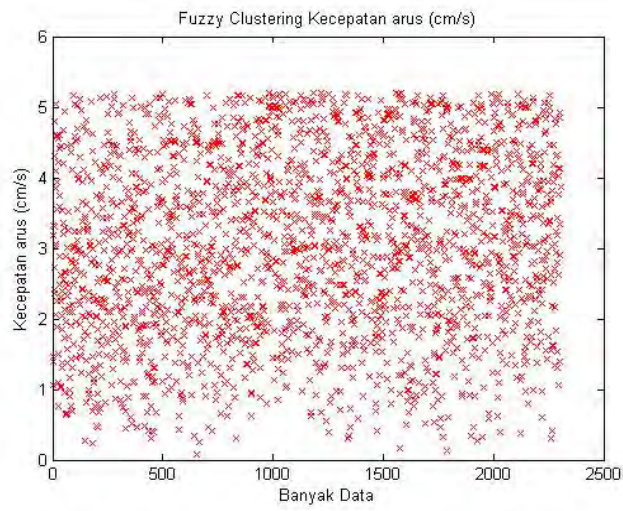
(f)

Gambar 2 FCM Ketinggian Gelombang (a)cluster GL(b) cluster R
(c) cluster WV (d) cluster SL(e) cluster MO (f) cluster RO

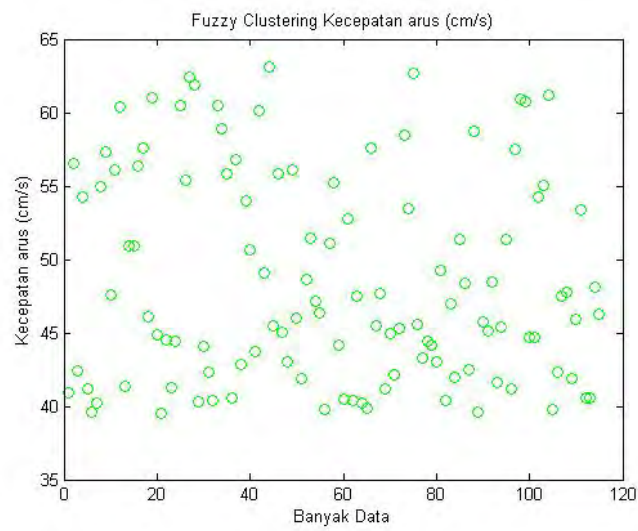
FCM Kecepatan Arus



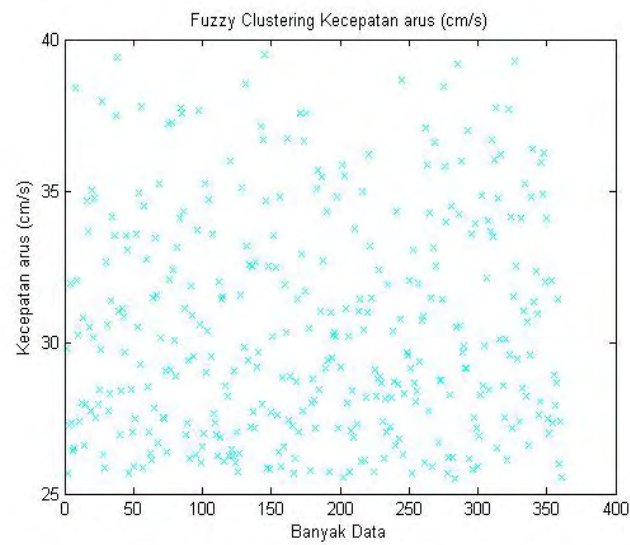
(a)



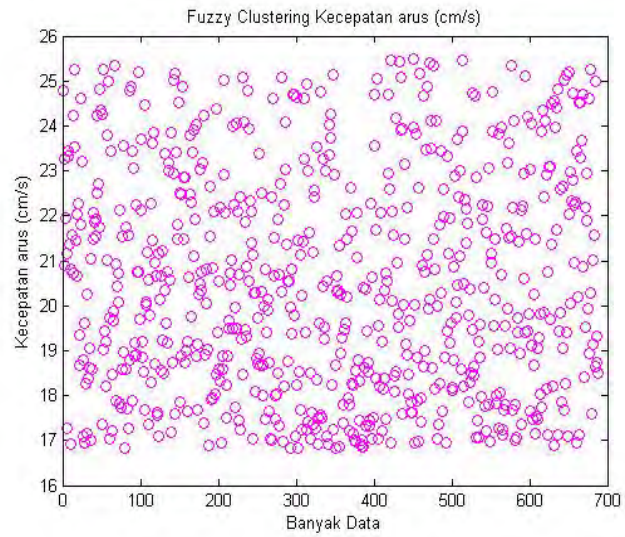
(b)



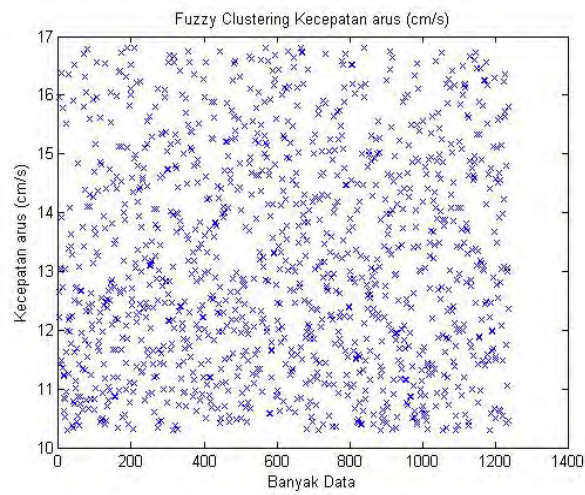
(c)



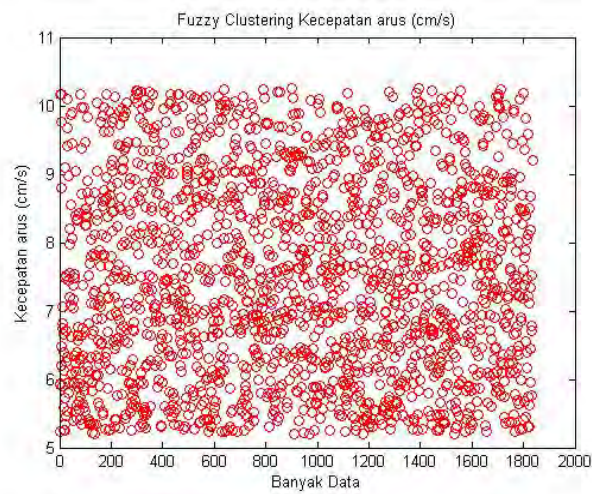
(d)



(e)



(f)



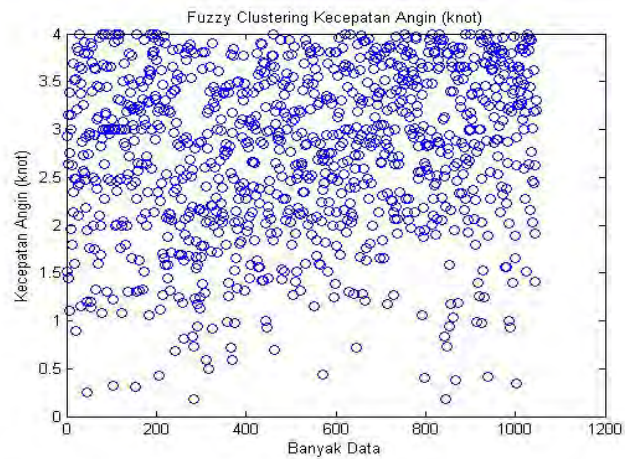
(g)

Gambar 3 FCM Kecepatan Arus (a)cluster VS(b) cluster S(c) cluster SM
(d) cluster SL(e) cluster AV(f) cluster F (g) cluster VF

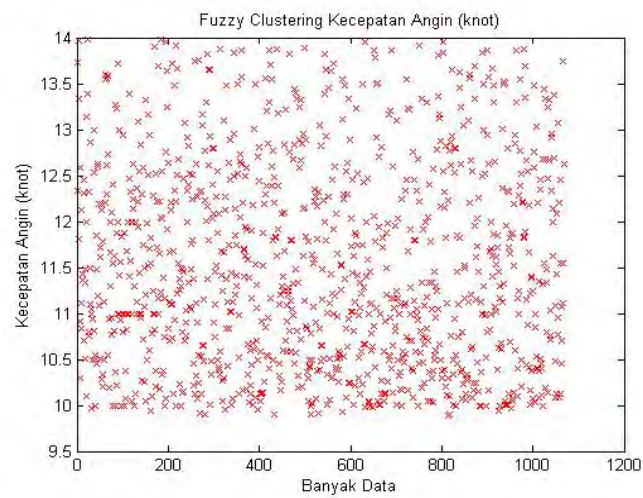
B.2 FCM Kecepatan Angin, Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model B



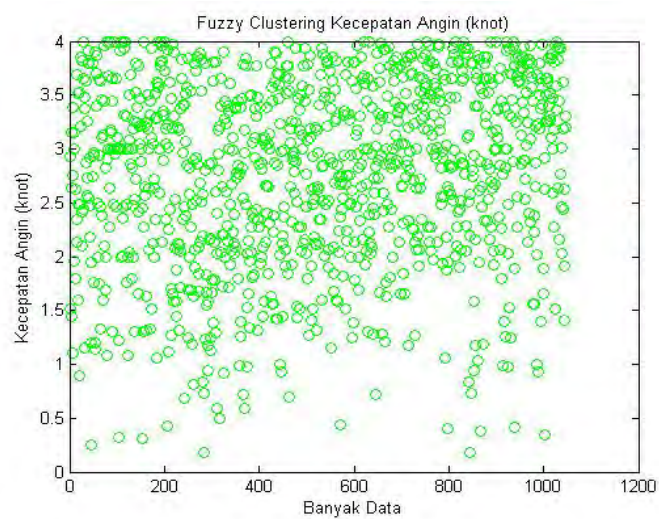
FCM Kecepatan Angin



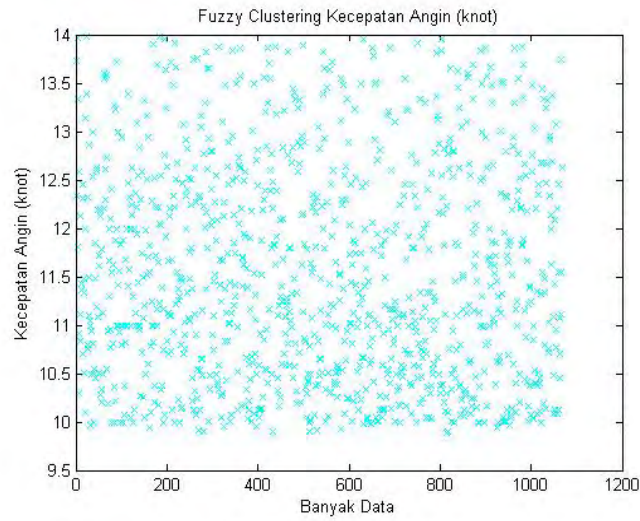
(a)



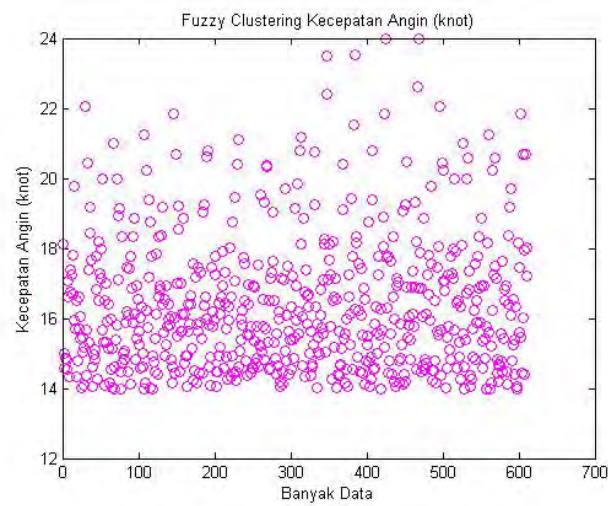
(b)



(c)



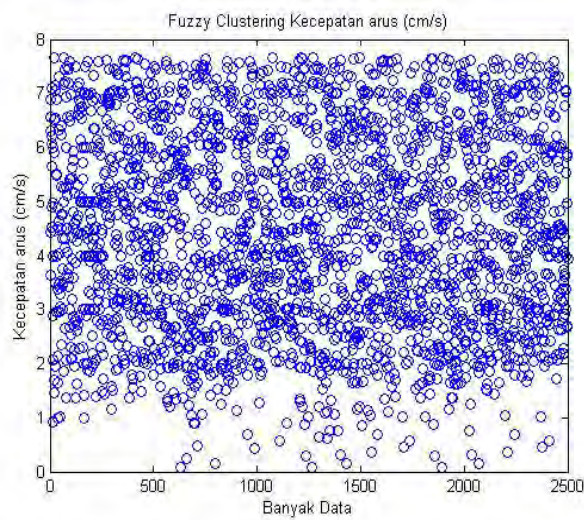
(d)



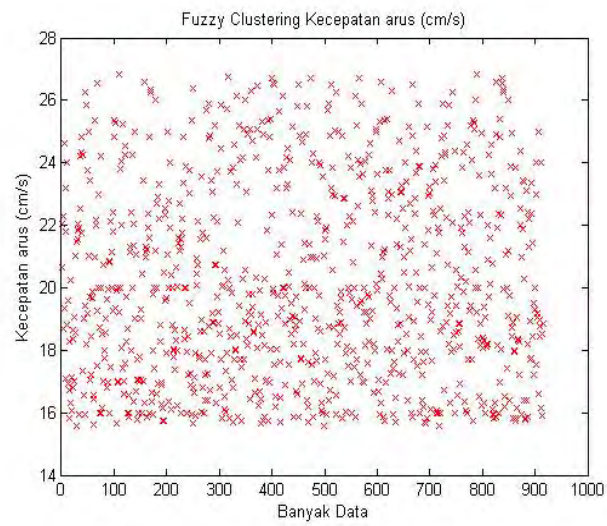
(e)

Gambar 4 FCM Kecepatan Angin (a)cluster CA(b) cluster LA
(c) cluster LB(d) cluster GB(e) cluster MB

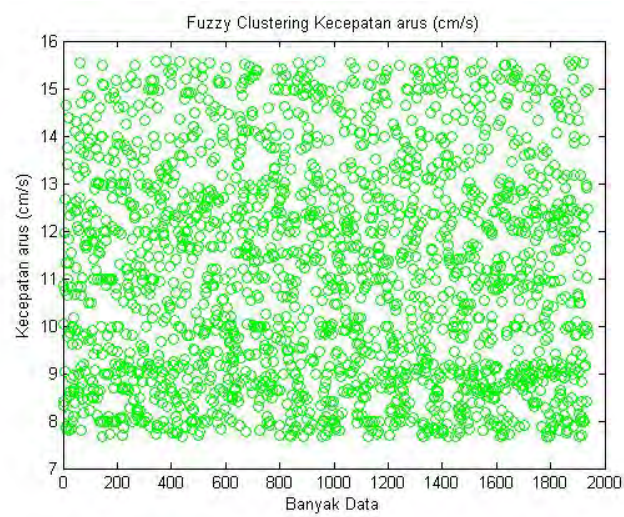
FCM Kecepatan Arus



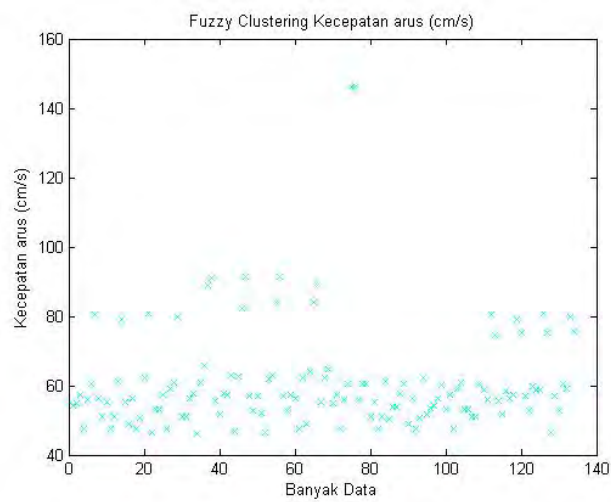
(a)



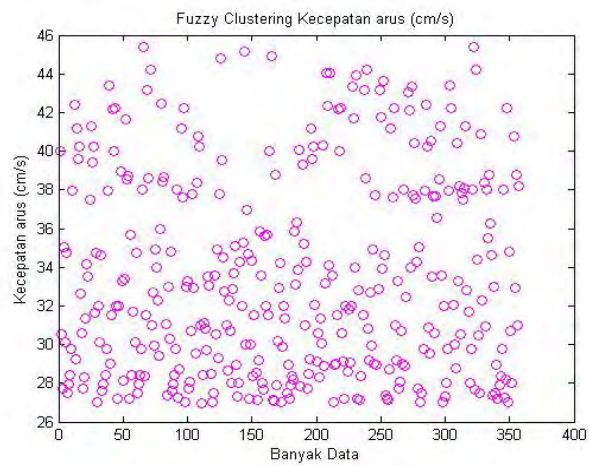
(b)



(c)



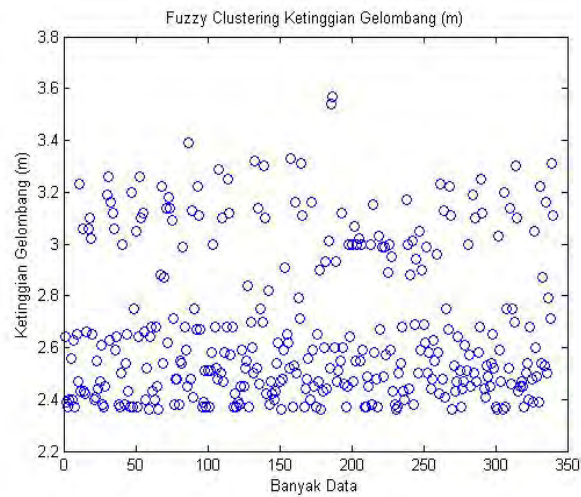
(d)



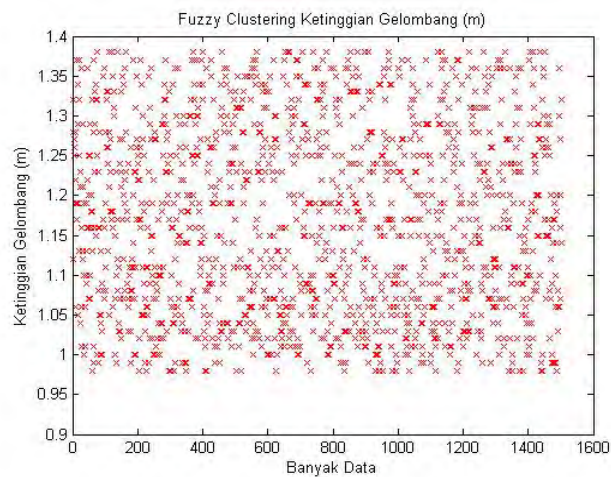
(e)

Gambar 5 FCM Kecepatan Arus (a)cluster VS(b) cluster S(c) cluster SM(d) cluster SL(e) cluster AV

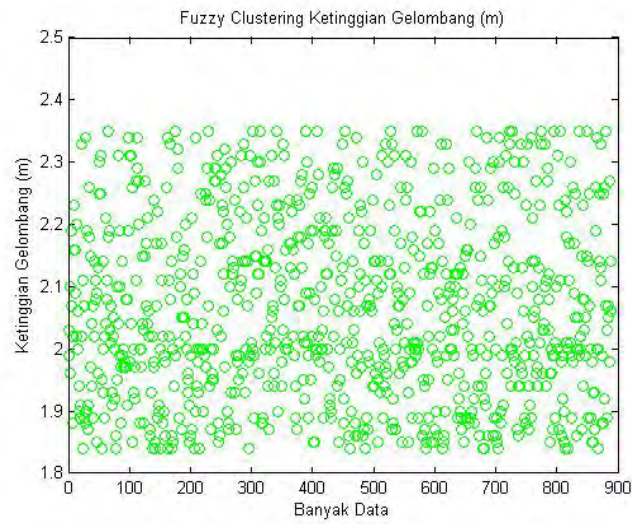
FCM Ketinggian Gelombang



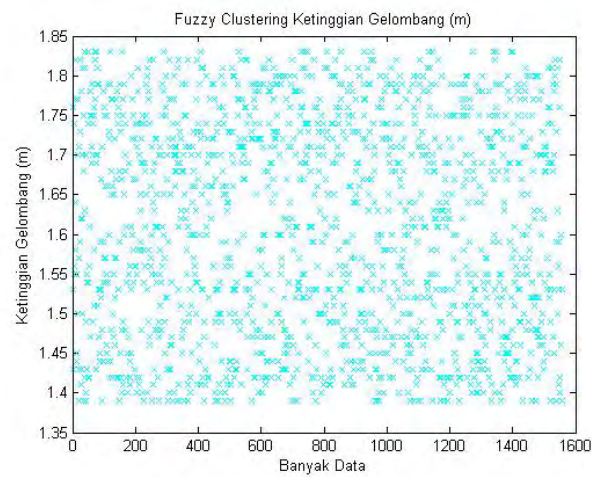
(a)



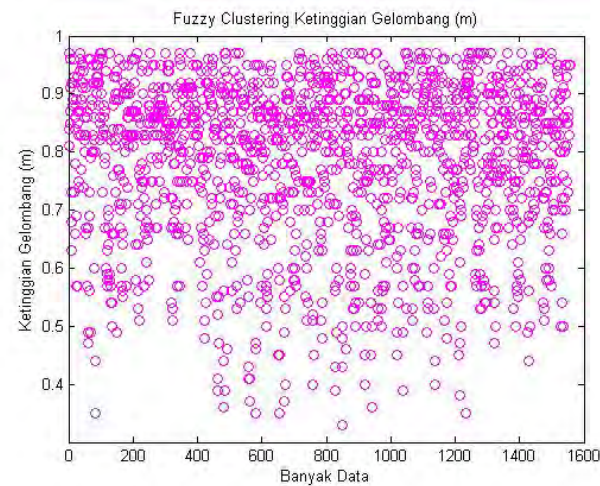
(b)



(c)



(d)

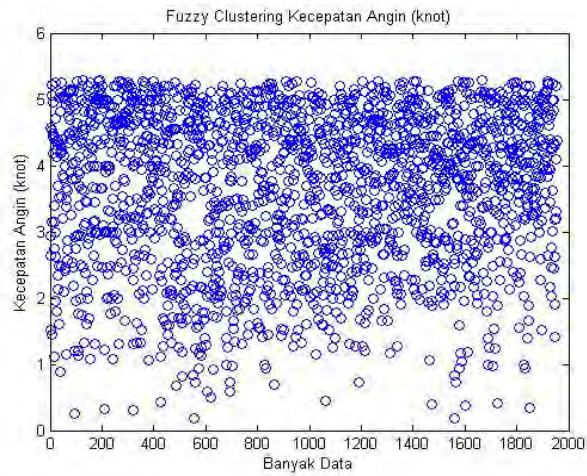


(e)

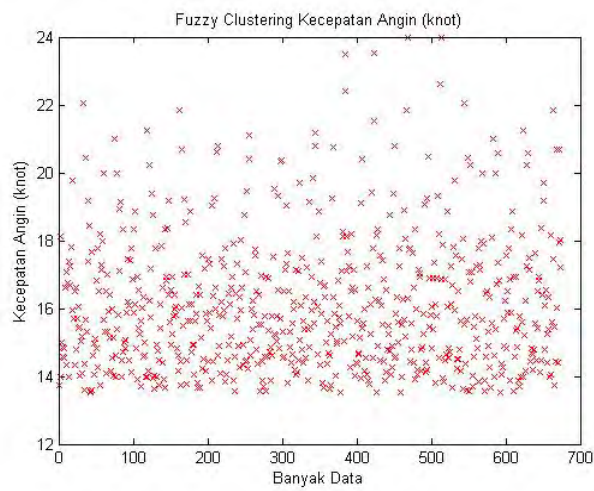
Gambar 6 FCM Ketinggian Gelombang (a)cluster GL(b) cluster R
(c) cluster WV(d) cluster SL(e) cluster MO

B.3 FCM Kecepatan Angin, Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model C

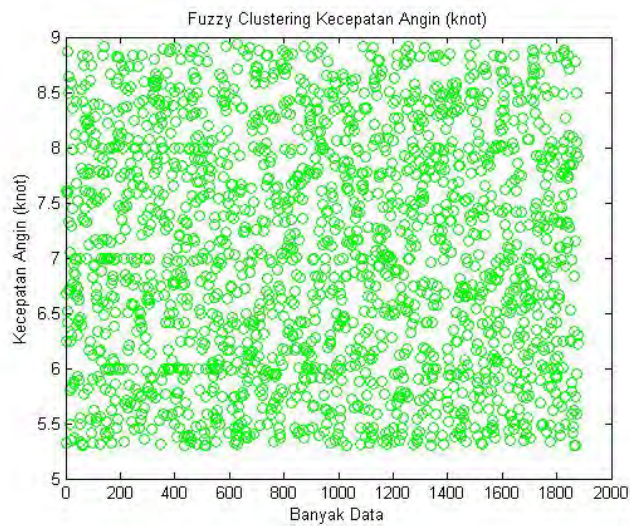
FCM Kecepatan Angin



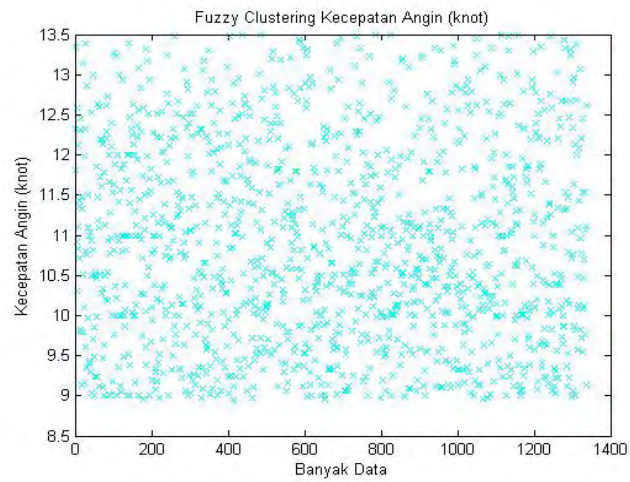
(a)



(b)



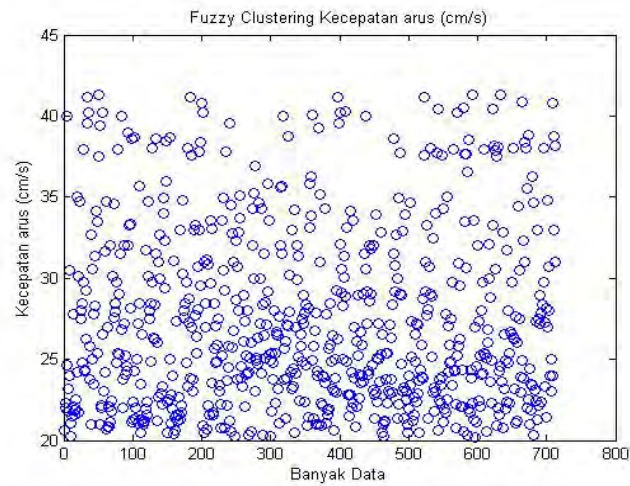
(c)



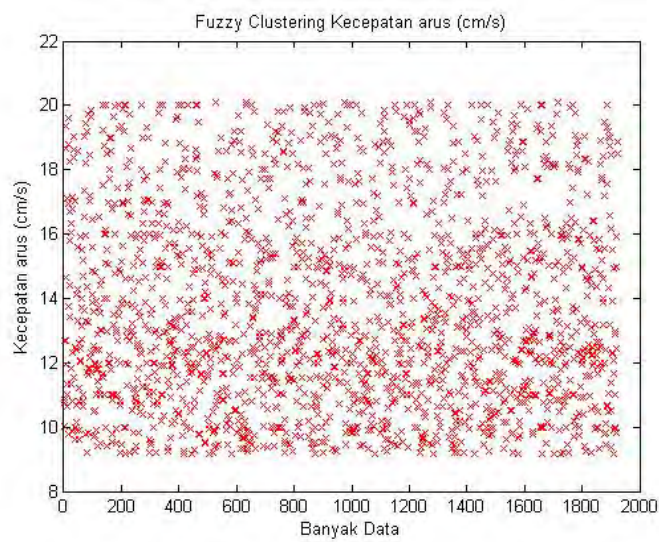
(d)

Gambar 7 FCM Kecepatan Angin (a)cluster CA(b) cluster LA
(c) cluster LB(d) cluster GB

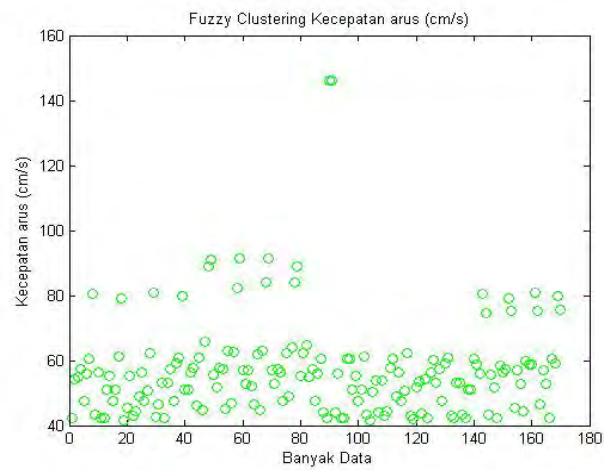
FCM Kecepatan Arus



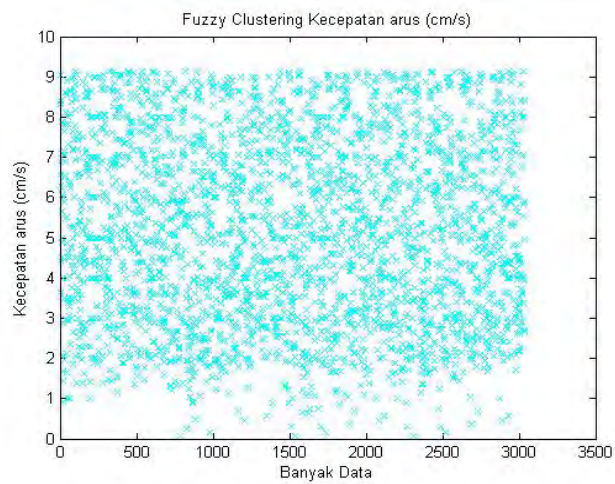
(a)



(b)



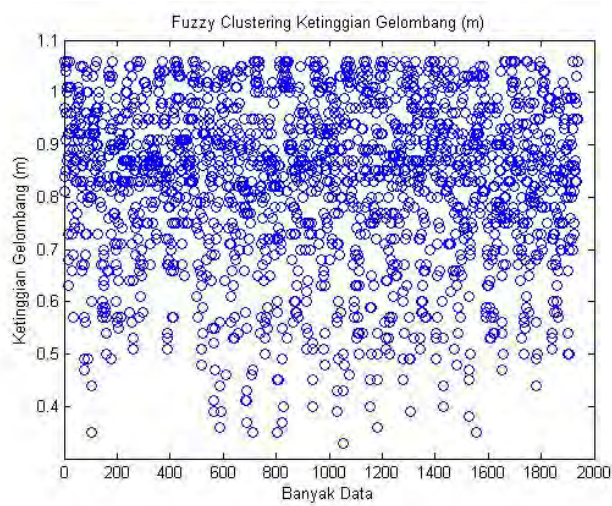
(c)



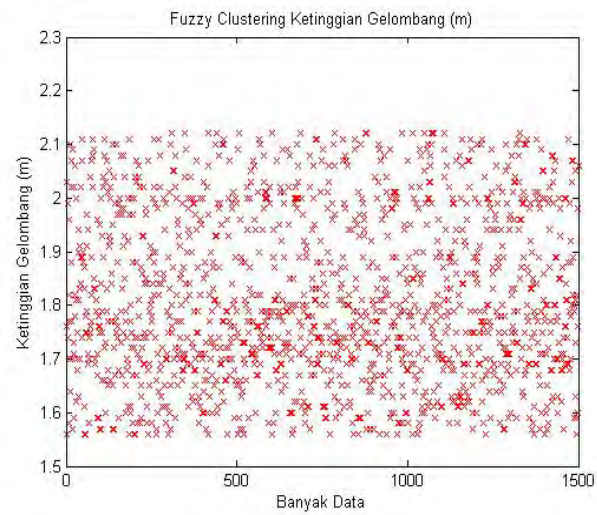
(d)

Gambar 7 FCM Kecepatan Arus (a)cluster VS(b) cluster S(c) cluster SM
(d) cluster SL

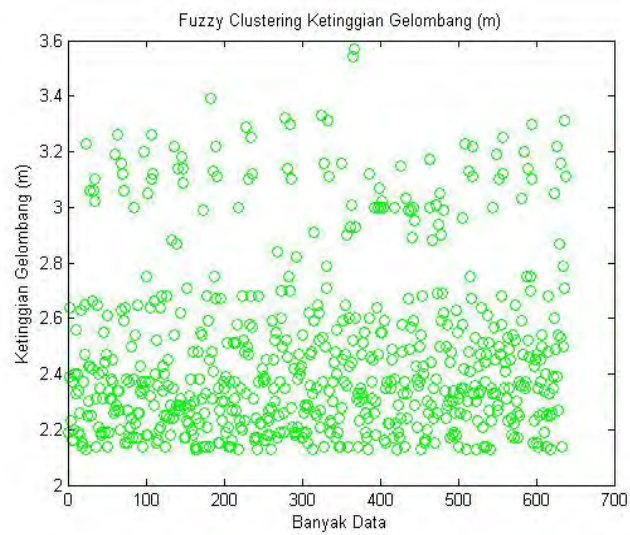
✚ FCM Ketinggian Gelombang



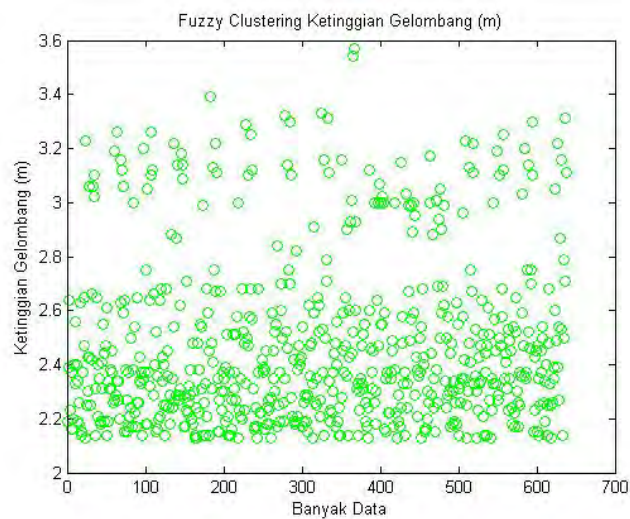
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8 FCM Ketinggian Gelombang (a)cluster GL(b) cluster R
(c) cluster WV (d) cluster SL

Keterangan Gambar :

- a) Kecepatan Angin : C = Calm, LA = Light Air, LB = Light Breeze, GB = Gentle Breeze, MB = Moderate Breeze, FB = Fresh Breeze, SB = Strong Breeze, GL = Glassy.
- b) Ketinggian Gelombang : GL = Glassy, RP = Rippled, WV = Wavelets, SL = Slight, MD = Moderate, R = Rough, VR = Very Rough
- c) Kecepatan Arus : VS = Very Slow, S = Slow, SM = Smooth, SL = Slight, AV = average, F = Fast, VF = Very Fast

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

Rule Base

C.1 Rule Base Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model A

Tabel 1 Algoritma Rule Base kecepatan Arus

No	<i>If</i>	Kec Angin (Knot)	Cu(t) (cm/s)	Cu(t-6) (cm/s)	<i>Then</i>	Cu(t+6) (cm/s)
1	<i>If</i>	CA	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
2	<i>If</i>	LA	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
3	<i>If</i>	LB	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
4	<i>If</i>	GB	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
5	<i>If</i>	MB	Average	Average	<i>Then</i>	Average
6	<i>If</i>	FB	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
7	<i>If</i>	SB	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
8	<i>If</i>	CA	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
9	<i>If</i>	CA	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
10	<i>If</i>	CA	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
11	<i>If</i>	CA	Average	Average	<i>Then</i>	Average
12	<i>If</i>	CA	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
13	<i>If</i>	CA	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
14	<i>If</i>	LA	V Slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
15	<i>If</i>	LA	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
16	<i>If</i>	LA	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
17	<i>If</i>	LA	Average	Average	<i>Then</i>	Average
18	<i>If</i>	LA	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
19	<i>If</i>	LA	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
20	<i>If</i>	LB	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
21	<i>If</i>	LB	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
22	<i>If</i>	LB	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
23	<i>If</i>	LB	Average	Average	<i>Then</i>	Average
24	<i>If</i>	LB	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
25	<i>If</i>	LB	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
26	<i>If</i>	GB	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
27	<i>If</i>	GB	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
28	<i>If</i>	GB	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
29	<i>If</i>	GB	Average	Average	<i>Then</i>	Average
30	<i>If</i>	GB	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
31	<i>If</i>	GB	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
32	<i>If</i>	MB	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
33	<i>If</i>	MB	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow

34	<i>If</i>	MB	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
35	<i>If</i>	MB	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
36	<i>If</i>	MB	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast
37	<i>If</i>	MB	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
38	<i>If</i>	FB	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
39	<i>If</i>	FB	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
40	<i>If</i>	FB	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
41	<i>If</i>	FB	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
42	<i>If</i>	FB	Average	Average	<i>Then</i>	Average
43	<i>If</i>	FB	V Fast	V Fast	<i>Then</i>	V Fast
44	<i>If</i>	SB	V slow	V slow	<i>Then</i>	V Slow
45	<i>If</i>	SB	Slow	Slow	<i>Then</i>	Slow
46	<i>If</i>	SB	Smooth	Smooth	<i>Then</i>	Smooth
47	<i>If</i>	SB	Slight	Slight	<i>Then</i>	Slight
48	<i>If</i>	SB	Average	Average	<i>Then</i>	Average
49	<i>If</i>	SB	Fast	Fast	<i>Then</i>	Fast

Tabel 2 Algoritma Rule Base Ketinggian Gelombang

No	<i>If</i>	Kec Angin (Knot)	H(t) (m)	H(t-6) (cm/s)	<i>Then</i>	H(t+6) (cm/s)
1	<i>If</i>	CA	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
2	<i>If</i>	LA	R	R	<i>Then</i>	Rippled
3	<i>If</i>	LB	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
4	<i>If</i>	GB	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
5	<i>If</i>	FB	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
6	<i>If</i>	FB	RO	RO	<i>Then</i>	Rought
7	<i>If</i>	SB	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
8	<i>If</i>	CA	RO	R	<i>Then</i>	Rippled
9	<i>If</i>	CA	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
10	<i>If</i>	CA	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
11	<i>If</i>	CA	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
12	<i>If</i>	CA	R	RO	<i>Then</i>	Rought
13	<i>If</i>	CA	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
14	<i>If</i>	LA	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
15	<i>If</i>	LA	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
16	<i>If</i>	LA	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
17	<i>If</i>	LA	MO	MO	<i>Then</i>	Mod erate
18	<i>If</i>	LA	RO	RO	<i>Then</i>	Rought
19	<i>If</i>	LA	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
20	<i>If</i>	LB	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
21	<i>If</i>	LB	R	R	<i>Then</i>	Rippled

22	<i>If</i>	LB	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
23	<i>If</i>	LB	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
24	<i>If</i>	LB	RO	RO	<i>Then</i>	Rought
25	<i>If</i>	LB	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
26	<i>If</i>	GB	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
27	<i>If</i>	GB	R	R	<i>Then</i>	Rippled
28	<i>If</i>	GB	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
29	<i>If</i>	GB	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
30	<i>If</i>	GB	RO	RO	<i>Then</i>	Rought
31	<i>If</i>	GB	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
32	<i>If</i>	MB	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
33	<i>If</i>	MB	R	R	<i>Then</i>	Rippled
34	<i>If</i>	MB	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
35	<i>If</i>	MB	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
36	<i>If</i>	MB	RO	RO	<i>Then</i>	Rought
37	<i>If</i>	MB	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
38	<i>If</i>	FB	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
39	<i>If</i>	FB	R	R	<i>Then</i>	Rippled
40	<i>If</i>	FB	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
41	<i>If</i>	FB	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
42	<i>If</i>	FB	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
43	<i>If</i>	FB	VRO	VRO	<i>Then</i>	Veryrought
44	<i>If</i>	SB	GL	GL	<i>Then</i>	Glassy
45	<i>If</i>	SB	R	R	<i>Then</i>	Rippled
46	<i>If</i>	SB	WL	WL	<i>Then</i>	Wavelets
47	<i>If</i>	SB	SL	SL	<i>Then</i>	Slight
48	<i>If</i>	SB	MO	MO	<i>Then</i>	Moderate
49	<i>If</i>	SB	RO	RO	<i>Then</i>	Rought

C.2 Rule Base Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model B

Tabel 3 Algoritma Rule Base kecepatan Arus

No	<i>If</i>	Kec Angin (knot)	Cu(t) (cm/s)	Cu(t-6) (cm/s)	U(t-6) (knot)	<i>Then</i>	Cu(t+6) (cm/s)
1	<i>If</i>	CA	V slow	V slow	CA	<i>Then</i>	V Slow
2	<i>If</i>	LA	Slow	Slow	LA	<i>Then</i>	Slow
3	<i>If</i>	LB	Smooth	Smooth	LB	<i>Then</i>	Smooth
4	<i>If</i>	GB	Slight	Slight	GB	<i>Then</i>	Slight
5	<i>If</i>	MB	Average	Average	MB	<i>Then</i>	Average
6	<i>If</i>	CA	Slow	Slow	CA	<i>Then</i>	Slow

7	<i>If</i>	CA	Smooth	Smooth	CA	<i>Then</i>	Smooth
8	<i>If</i>	CA	Slight	Slight	CA	<i>Then</i>	Slight
9	<i>If</i>	CA	Average	Average	CA	<i>Then</i>	Average
10	<i>If</i>	LA	V Slow	V slow	LA	<i>Then</i>	V Slow
11	<i>If</i>	LA	Smooth	Smooth	LA	<i>Then</i>	Smooth
12	<i>If</i>	LA	Slight	Slight	LA	<i>Then</i>	Slight
13	<i>If</i>	LA	Average	Average	LA	<i>Then</i>	Average
14	<i>If</i>	LB	V slow	V slow	LB	<i>Then</i>	V Slow
15	<i>If</i>	LB	Slow	Slow	LB	<i>Then</i>	Slow
16	<i>If</i>	LB	Slight	Slight	LB	<i>Then</i>	Slight
17	<i>If</i>	LB	Average	Average	LB	<i>Then</i>	Average
18	<i>If</i>	GB	V slow	V slow	GB	<i>Then</i>	V Slow
19	<i>If</i>	GB	Slow	Slow	GB	<i>Then</i>	Slow
20	<i>If</i>	GB	Smooth	Smooth	GB	<i>Then</i>	Smooth
21	<i>If</i>	GB	Average	Average	GB	<i>Then</i>	Average
22	<i>If</i>	MB	V slow	V slow	MB	<i>Then</i>	V Slow
23	<i>If</i>	MB	Slow	Slow	MB	<i>Then</i>	Slow
24	<i>If</i>	MB	Smooth	Smooth	MB	<i>Then</i>	Smooth
25	<i>If</i>	MB	Slight	Slight	MB	<i>Then</i>	Slight

Tabel 4 Algoritma Rule Base Tinggi Gelombang

No	<i>If</i>	Kec Angin (Knot)	H(t) (m)	H(t-6) (cm/s)	U(t-6) (knot)	<i>Then</i>	H(t+6) (cm/s)
1	<i>If</i>	CA	GL	GL	CA	<i>Then</i>	Glassy
2	<i>If</i>	LA	R	R	LA	<i>Then</i>	Rippled
3	<i>If</i>	LB	WL	WL	LB	<i>Then</i>	Wavelets
4	<i>If</i>	GB	SL	SL	GB	<i>Then</i>	Slight
5	<i>If</i>	FB	MO	MO	MB	<i>Then</i>	Moderate
6	<i>If</i>	CA	RO	R	CA	<i>Then</i>	Rippled
7	<i>If</i>	CA	WL	WL	CA	<i>Then</i>	Wavelets
8	<i>If</i>	CA	SL	SL	CA	<i>Then</i>	Slight
9	<i>If</i>	CA	MO	MO	CA	<i>Then</i>	Moderate
10	<i>If</i>	LA	GL	GL	LA	<i>Then</i>	Glassy
11	<i>If</i>	LA	WL	WL	LA	<i>Then</i>	Wavelets
12	<i>If</i>	LA	SL	SL	LA	<i>Then</i>	Slight
13	<i>If</i>	LA	MO	MO	LA	<i>Then</i>	Moderate
14	<i>If</i>	LB	GL	GL	LB	<i>Then</i>	Glassy
15	<i>If</i>	LB	R	R	LB	<i>Then</i>	Rippled

16	<i>If</i>	LB	SL	SL	LB	<i>Then</i>	Slight
17	<i>If</i>	LB	MO	MO	LB	<i>Then</i>	Moderate
18	<i>If</i>	GB	GL	GL	GB	<i>Then</i>	Glassy
19	<i>If</i>	GB	R	R	GB	<i>Then</i>	Rippled
20	<i>If</i>	GB	WL	WL	GB	<i>Then</i>	Wavelets
21	<i>If</i>	GB	MO	MO	GB	<i>Then</i>	Moderate
22	<i>If</i>	MB	GL	GL	MB	<i>Then</i>	Glassy
23	<i>If</i>	MB	R	R	MB	<i>Then</i>	Rippled
24	<i>If</i>	MB	WL	WL	MB	<i>Then</i>	Wavelets
25	<i>If</i>	MB	SL	SL	MB	<i>Then</i>	Slight

Keterangan Tabel :

- Kecepatan Angin : C = Calm, LA = Light Air, LB = Light Breeze, GB = Gentle Breeze, MB = Moderate Breeze, FB = Fresh Breeze, SB = Strong Breeze, GL = Glassy.
- Ketinggian Gelombang : GL = Glassy, RP = Rippled, WV = Wavelets, SL = Slight, MD = Moderate, R = Rough, VR = Very Rough
- Kecepatan Arus : VS = Very Slow, S = Slow, SM = Smooth, SL = Slight, AV = average, F = Fast, VF = Very Fast

C.3 Rule Base Kecepatan Arus dan Ketinggian Gelombang Perairan Ternate Model C

Algoritma rule base kecepatan arus adalah

- If (Kec.Angin (U(t) is Calm) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) then (Cu(t+6) is VerySlow)*
- If (Kec.Angin (U(t) is LightAir) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) and then (Cu(t+6) is Slow)*
- If (Kec.Angin (U(t) is LightBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (H(t+1) is Smooth)*
- If (Kec.Angin (U(t) is GentleBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) then (Cu(t+6) is Slight)*
- If (Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) then (Cu(t+6) is Slow)*
- If (Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (Cu(t+6) is Smooth)*

7. *If (Kec.Angin is Calm) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight)) then (Cu(t+6) is Slight*
8. *If (Kec.Angin is LightAir) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) and then (Cu(t+6) is VerySlow*
9. *If (Kec.Angin is LightAir) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) and then (Cu(t+6) is Smooth*
10. *If (Kec.Angin is LightAir) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) and then (Cu(t+6) is Slight*
11. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) then (H(t+1) is VerySlow*
12. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) then (H(t+1) is Slow*
13. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (Cu(t) is Slight) and (Cu(t-6) is Slight) then (H(t+1) is Slight*
14. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is VerySlow) and (Cu(t-6) is VerySlow) then (Cu(t+6) is VerySlow*
15. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is Slow) and (Cu(t-6) is Slow) then (Cu(t+6) is Slow*
16. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (Cu(t) is Smooth) and (Cu(t-6) is Smooth) then (Cu(t+6) is Smooth*

Algoritma rule base ketinggian gelombang adalah

1. *If (Kec.Angin is Calm) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy) then (H(t+6) is Glassy*
2. *If (Kec.Angin is LightAir) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled) then (H(t+6) is Rippled*
3. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet*
4. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight)) then (H(t+6) is Slight)*
5. *If (Kec.Angin is Calm) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet*

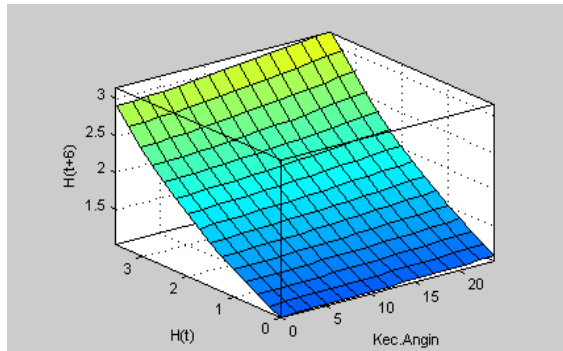
6. *If (Kec.Angin is Calm) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight) then (H(t+6) is Slight)*
7. *If (Kec.Angin is Calm) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled) then (H(t+6) is Rippled)*
8. *If (Kec.Angin is LightAir) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy) then (H(t+6) is Glassy)*
9. *If (Kec.Angin is LightAir) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight)) then (H(t+6) is Slight)*
10. *If (Kec.Angin is LightAir) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet) then (H(t+6) is Wavelet)*
11. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy) then (H(t+6) is Glassy)*
12. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled) then (H(t+6) is Rippled)*
13. *If (Kec.Angin is LightBreeze) and (H(t) is Slight) and (H(t-6) is Slight) then (H(t+6) is Slight)*
14. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (H(t) is Glassy) and (H(t-6) is Glassy)) then (H(t+6) is Glassy)*
15. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (H(t) is Rippled) and (H(t-6) is Rippled)) then (H(t+6) is Rippled)*
16. *If (Kec.Angin is GentleBreeze) and (H(t) is Wavelet) and (H(t-6) is Wavelet)) then (H(t+6) is Wavelet)*

Halaman sengaja dikosongkan

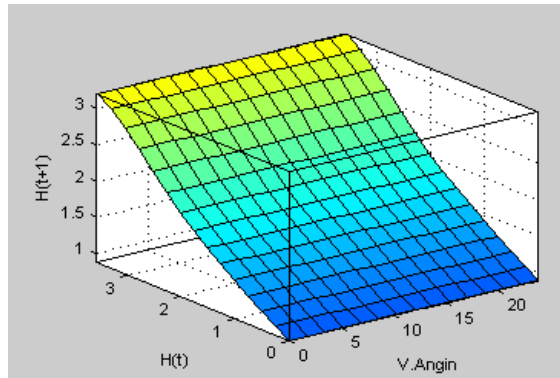
LAMPIRAN D

Penalaran (*Inference Machine*) dan Defuzzyfikasi

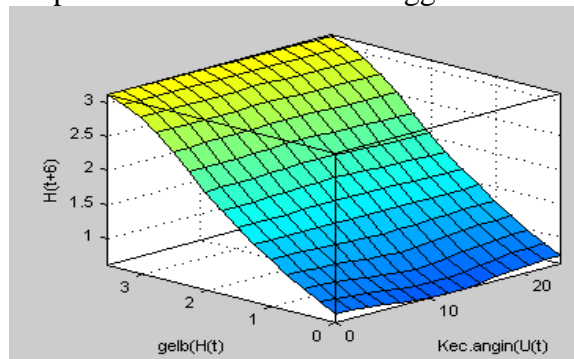
D.1 Penalaran (*Inference Machine*) Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus



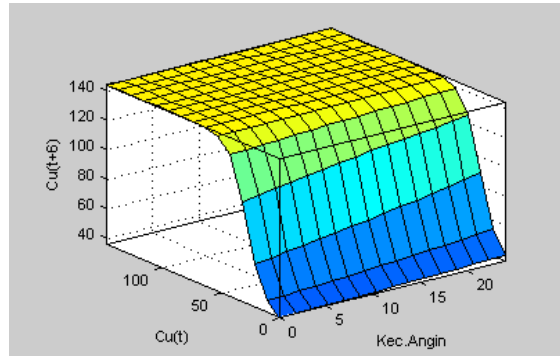
Gambar 1 Tampilan Surface Viewer Ketinggian Gelombang Model A



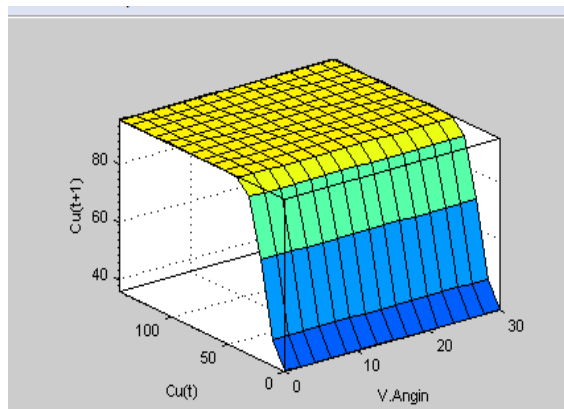
Gambar 2 Tampilan Surface Viewer Ketinggian Gelombang Model B



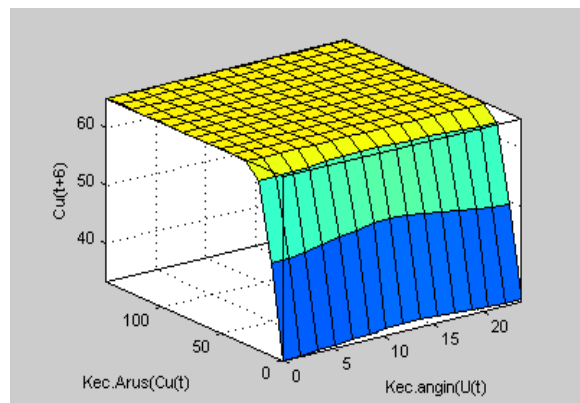
Gambar 3 Tampilan Surface Viewer Ketinggian Gelombang Model C



Gambar 4 Tampilan Surface Viewer Kecepatan Arus Model A



Gambar 5 Tampilan Surface Viewer Kecepatan Arus Model B

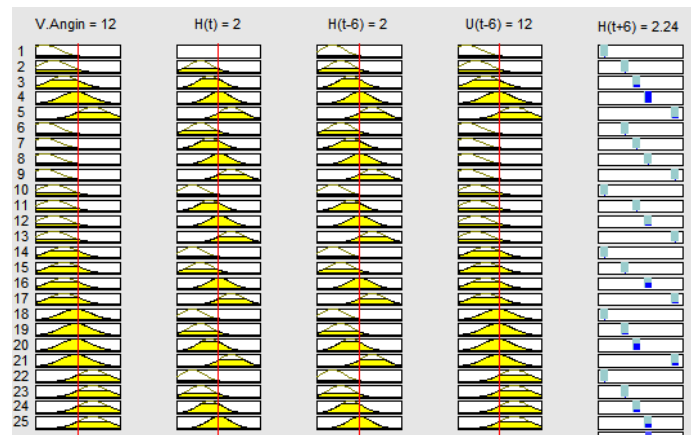


Gambar 6 Tampilan Surface Viewer Kecepatan Arus Model C

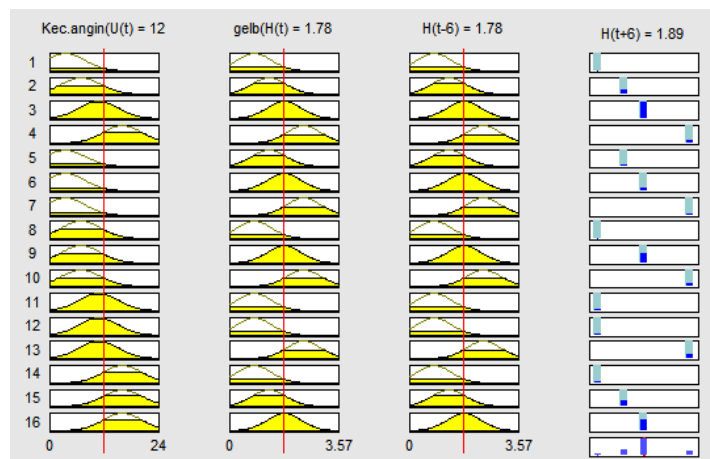
D.2 Defuzzifikasi Ketinggian Gelombang dan Kecepatan Arus



Gambar 7 Tampilan *Rule Viewer* Ketinggian Gelombang Model A



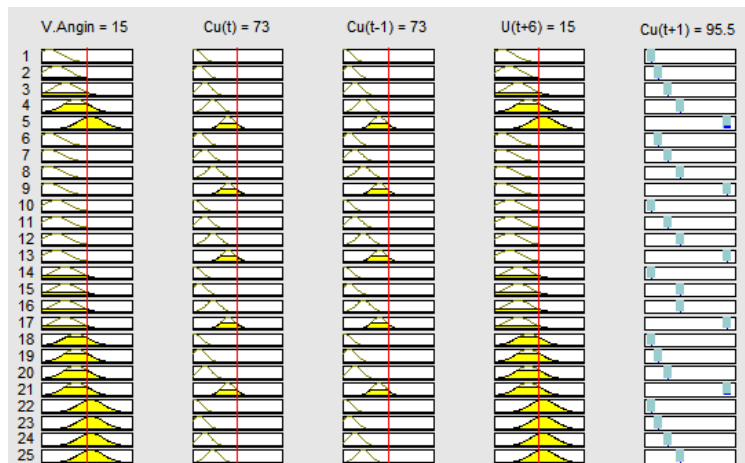
Gambar 8 Tampilan *Rule Viewer* Ketinggian Gelombang Model B



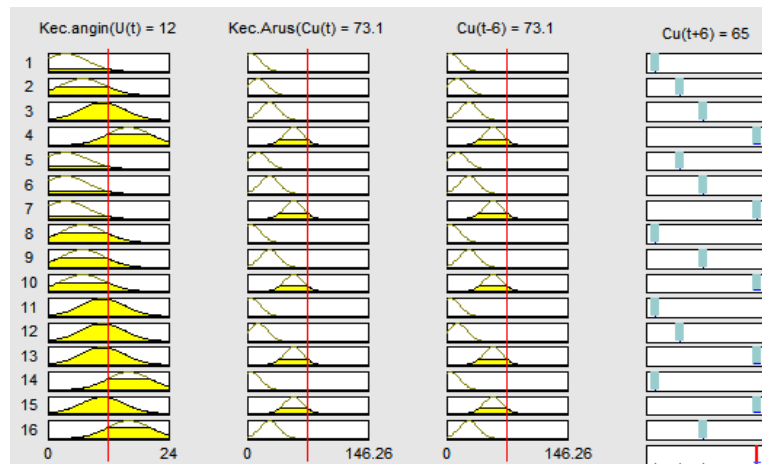
Gambar 9 Tampilan *Rule Viewer* Ketinggian Gelombang Model C



Gambar 10 Tampilan *Rule Viewer* Kecepatan Arus Model A



Gambar 11 Tampilan *Rule Viewer* Kecepatan Arus Model B



Gambar 12 Tampilan *Rule Viewer* Kecepatan Arus Model C

DAFTAR PUSTAKA

- Aisjah, A.S., Arifin S., (2010), “*Aplikasi Sistem Logika Fuzzy pada Peramalan Cuaca Di Indonesia Untuk Mendeteksi Kejadian Anomali Tinggi Gelombang Laut*”, LPPM ITS Surabaya.
- Aisjah, A.S., Arifin S., (2011), “*Maritime Weather Prediction Using Fuzzy Logic In Java Sea*”, International Conference On Instrumentation Control and Automation, 15-17 november 2011, Bandung Indonesia, IEEE, hal. 205-208.
- Arifin, S., (2012). *Handout: Sistem Fuzzy*.
- Arifin, S., Aisjah, A.S., Fatah, H., (2014), “*Analysis of Maritime Weather Characteristic Based on Result of land Weather Using Fuzzy Logic Prediction in Pasuruan, Probolinggo and Situbondo*”, International Conference on Information, Communication Technology and System, IEEE, hal. 59-64.
- Agboola, A.H., Gabriel, A.J., Aliyu, E.O, Alese, B.K (2013), “*Development of a Fuzzy Logic Based Rainfall Prediction Model*”, International Journal of Engineering and Technology Vol. 3, No. 4.
- Al-Matarneh, L., Sheta, A., Bani-Ahmad, S., Alshaer, J., Al-oqily, I., (2014), “*Development of Temperature-based Weather Forecasting Models Using Neural Networks and Fuzzy Logic*”, International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering Vol. 9, No. 12, hal. 343-366.
- BMKG Maritim Bitung, *Pengambilan Data Cuaca Maritim Perairan Ternate Maluku Utara*.
- Baboo, S., Dr., (2010), “*An Efficient Weather Forecasting System Using ANN*”, International Journal Of Environment Science and Development.
- Fallah-Ghahary, G.A., Mousavi-Baygi, M., Nokhandan, M.H., (2009), “*Annual Rainfall Forecasting by Using Mamdani Fuzzy Inference System*”, Research Journal of Environmental Sciences. Vol. 3(4), hal : 400-413.

- Illa, R., (2015). *“Perancangan Model Prediktor Ketinggian Gelombang di Perairan Sumatera-Jawa Dengan Menggunakan Variasi Masukan Berbasis Jaringan syaraf Tiruan”*. Tesis Teknik Fisika ITS Surabaya.
- Janani, B., Sebastian, P., (2014), *“Analysis On The Weather Forecasting And Techniques”*, International Journal Of Advanced Research In Computer and Technology, Vol. 3 issue 1.
- Kamranzad, B., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H., (2011), *“Wave Height Forecasting in Dayyer, the Persian Gulf”*, Ocean Engineering, Vol. 38, hal. 248-255.
- Kazeminezhad, M.H., Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S.J., (2005), *“Aplication of Fuzzy Inference System In The Prediction Wave Parameters”*, Ocean Engineering, Vol. 32, hal. 1709-1725.
- Kashikar, V.R., Mane, S.J., (2014), *“Wave Height Forecasting Using Artificial Neural Network And Fuzzy Logic”*, International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, ISSN: 2321-404X, Volume 2, Issue 2.
- Kajornrit, J., Wong, K.W., Fung, C.C., (2012), *“Rainfall Prediction in the Northeast Region of Thailand using Modular Fuzzy Inference System”*, In Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence.
- Lanuru, Suwarni (2011), Pengantar Oseanografi, Universitas Hasanudin, Makassar.
- Massel, S.R., (1996) *“ Ocean surface Waves : Their Physic And Prediction”* , Advanced Series on Ocean Engineering World Scientific Singapore, Vol.11.
- Meilanitasari, Prita, (2010), *“Prediksi Cuaca Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Kelayakan Pelayaran di Tanjung Perak Surabaya”*, Tugas Akhir Teknik Fisika ITS Surabaya.
- Nofirza, Infi, Z., (2011). *“Perancangan Alat Belajar dan Bermain Yang Ergonomis Di Taman Kanak-kanak Islam Permata selat Panjang”*. Jurnal Ilmiah teknik Industri, Vol. 10, hal 48-58.

- Navianti, D.R., Usadha, I.G., Widjajati, F.A., (2012), “*Penerapan Fuzzy Inference System pada Prediksi Curah Hujan di Surabaya Utara*”, JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 1, No. 1, ISSN: 2301-928X A-23.
- Ozger, M., Sen, Z., (2007), “*Prediction of wave Parameter by using ANFIS Model*”, Journal ISSN: 0029-8018, hal. 460-469.
- Sylaios, G., Bouchette, F., Tsihrintzis, V.A., Denamiel, C., (2009), “*A Fuzzy Inference System for Wind-Wave Modelling*”, Ocean Engineering Vol. 38, hal. 248-255.
- Shahi, A., Atan, BR., Sulaiman, N., (2009), “*An Effective Fuzzy C-Mean And Type-2 Fuzzy Logic For Weather Forecasting*”, Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Hal : 556-567.
- Shamsnia, S.A., Shahidi, N., Liaghat, A., Sarraf, A., Vahdat, S.F., (2011), “*Modeling of Weather parameters Using Stochastic Methods (ARIMA Model)(Case Study : Abadeh Region, Iran)*”, International Conference on Enviroment and Industrial Innovation IPCBEE Vol.12.
- Tarade R.S., Katty Dr.P.K., (2011), “*A Comparative Analysis for Wind speed Prediction*”, Journal IEEE.
- Vimala, J., Latha, G., Venkatesan, R., (2014). “*Real Time Forecasting Using Jaringan Syaraf Tiruan With Varyng Input Parameter*”, Indian journal of Geo-Marine Sciences, Vol. 43(1), hal. 82-87
- World Meteorological Organization (1998), “*Guide to wave and forecasting*” WMO- No 702 second edition, secretariat of the world meteorological organization, Geneva
- Wei Wei, Yajie Zhang, Guilian Wu, Mingjuan Tong (2012), “*Ultra-short-term /Short-term Wind Power Continuous Prediction Based on Fuzzy Clustering Analysis*”, IEEE PES ISGT ASIA 2012 1569613375.
- Zamani, A., Solomatine, D., Azimian, A., Heemink, A. (2008), “*Learning From Data For Wind Wave Forecasting*”, Ocean Engineering, Vol. 35, hal. 953-962
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

Halaman sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Ternate Propinsi Maluku Utara pada tanggal 27 Maret 1981 dari ayah bernama Hikmah Sangadji dan ibu bernama Hj. Kasmira Hi. Taib. Penulis merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Gang Fakatinyinga RT 12 / RW 05 Kelurahan Soa Kota Ternate. Pada tahun 1993, penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Ngidi Ternate. Tahun 1996 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMP Islam Ternate. Tahun 1999 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Ternate. Tahun 2003 penulis menyelesaikan gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Keguruan Ilmu Pendidikan (FKIP) Jurusan MIPA Program Studi Pendidikan Fisika di Universitas Khairun Ternate. Dan pada tahun 2016 ini, penulis telah menyelesaikan gelar Magister di Bidang Keahlian Rekayasa Instrumentasi Industri Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email **anisasangadji@gmail.com**.